MÉMOIRE

Présenté par Maider ETCHART

Dans le cadre de la dominante d'approfondissement : **IDEA (Ingénierie de l'Environnement, Eau, Déchets et Aménagements durables)**

Gestion et valorisation des digestats de méthanisation collective dans le bassin de la coopérative Arterris

Pour l'obtention du :

DIPLÔME D'INGENIEUR d'AGROPARISTECH
Cursus ingénieur agronome
et du DIPLÔME D'AGRONOMIE APPROFONDIE

Stage effectué du 1er mars au 1er septembre 2009

A : la coopérative ARTERRIS
24, avenue Marcel Dassault
31505 TOULOUSE

Enseignant-responsable : Thierry DORE **Maître de stage** : Anne PAULHE-MASSOL

Soutenu le 24 septembre 2009

Remerciements

Je souhaiterais tout d'abord remercier Anne Paulhe-Massol pour son encadrement attentif. Merci aussi à Anne et Guillaume Duboin de m'avoir réellement intégrée dans l' « aventure » méthanisation au sein d'Arterris.

Je suis par ailleurs reconnaissante envers Thierry Doré, mon tuteur de l'Agro, dont la pertinence des commentaires n'a eu d'égal que leur rapidité.

Ensuite, il *me faut remercier* l'équipe d'Arterris au complet, pour son accueil bien toulousain. Une pensée particulière pour Denise, disponible et de bonne humeur à toute épreuve ; pour Régis qui m'a permis de connaître toute personne franchissant la porte de son bureau ! Mes remerciements s'adressent aussi à mes deux costagiaires, Guillaume et Bruno, pour les bons moments passés ensemble autour d'un cappuccino long sans sucre…

Je souhaite ensuite exprimer ma gratitude envers tous ceux qui ont pleinement contribué à ce travail : l'équipe Valorem (Camille Dutry, Aurélie Reibel, Emmanuel Leheurteux et Frédéric Petit), l'équipe Solagro (Christian Couturier et Sylvaine Berger), les membres d'Arterris (Alain Bondouy, Francis Dubac, Pascal Dupuy, Gilles Gazagnes, Jacky Gleizes, Dominique Moullet et Jacques Rey) sans oublier Pierre Castillon, Nathalie Maurs, Mr Paris et Mr Latche.

Azkenik, garrantzitsuena: esker beroenak bihurtzen ditut…
Lehenik aitari
Gero amari
Gero (anai) ahizperi
Azken orenean segereturik gabe
Ene aitatxi maite eta iraunkorrari

Gure arteko harreman onek iraun dezatela luzaz.

Table des matières

TABLE DES ILLUSTRATIONS 5

TABLE DES ABREVIATIONS 6

INTRODUCTION 7

PARTIE I : CONTEXTE GENERAL EN AMONT DE L'ETUDE 8
1. Présentation de la coopérative Arterris 8
2. Un marché d'engrais mondial et fluctuant 9
3. La méthanisation dans les territoires agricoles 10
3.1 Une multitude de projets envisageables 10
3.2 Zoom sur la méthanisation territoriale 11
4. Partenariat développé avec Valorem 12
4.1 VALOREM, une société développant les énergies renouvelables 12
4.2 Pourquoi le choix de la méthanisation territoriale ? 12
4.3 La problématique digestat est confiée à Arterris 13
5. Définition de la problématique du stage 13
5.1 Deux territoires d'étude : Castelnaudary et Puylaurens 14
5.2 Attentes d'Arterris sur le travail présent 15
5.3 Matériels et méthodes 15
5.4 Hypothèses de départ concernant le digestat 16
5.5 Spécificités de cette étude 17

PARTIE II : LE DIGESTAT : ETAT DE L'ART 18
1. La qualité agronomique des digestats 18
1.1 L'innocuité des digestats de méthanisation 18
1.2 Les digestats, fertilisants ou amendements ? 20
2. Statut réglementaire du digestat 26
2.1 Le digestat est un déchet 26
2.2 Diverse possibilités de gérer un digestat 27
2.3 Perspectives d'évolution de ce statut 28

PARTIE III : ESTIMATION DE LA DEMANDE EN FERTILISANTS ET AMENDEMENTS DES TERRITOIRES 29
1. Diagnostic de la demande en fertilisant 29
1.1 Méthodologie de recueil de données 29
1.2 Premiers résultats 32
1.3 Ajustement des résultats à notre territoire 33
1.4 Validité des résultats 35
1.5 Comparaison offre/demande et premières conclusions 35
2. Diagnostic de la demande en matière organique 36
2.1 Données issues des rapports d'évaluations du marché compost 36
2.2 Avis d'experts, d'acteurs et données des analyses de terre 37
2.3 Comparaison offre/demande en MO 37

PARTIE IV : NOUVEAU PRODUIT, NOUVEAU MODE D'EMPLOI 39
1. Conditions d'apport préconisées 39
1.1 Ligne directrice : gestion optimale de l'azote minéral 39
1.2 Calendrier d'apport préconisé pour chaque digestat 39
1.3 Volumes à apporter : association une forme de digestat - une culture ? 41
2. Mesure des changements de pratique induits 42
2.1 Rappel des pratiques de fertilisation actuelles 42
2.2 Changement de raisonnement pour le digestat solide 44
2.3 Changement total à prévoir pour le digestat liquide 46
3. Consultation du monde agricole : test des hypothèses 48
3.1 Une consultation retardée dans l'emploi du temps 48
3.2 Un digestat solide attrayant 49
3.3 Des difficultés pour le digestat liquide 50
3.4 Prévoir une gestion alternative du digestat liquide 51

PARTIE V : APPROCHE MARKETING & COMMERCIALE DES DIGESTATS 52
1. Méthodologie : les cinq forces de Porter 52
2. Produits de substitution : composts et engrais minéraux 53
2.1 Les engrais minéraux au sein d'Arterris 53
2.2 Le marché des composts dans le bassin Arterris 53
2.3 Conclusion sur la concurrence des produits de substitution 54
3. Définition des prix des digestats en fonction de la concurrence 55
3.1 Hypothèses de calcul et détermination du prix de l'humus 55
3.2 Prix à donner au digestat solide 56
3.2 Digestat liquide : prix positif ? 57
4. Pouvoir de négociation des clients 58
5. Les atouts marketing des produits 59

DISCUSSION DES RESULTATS ET PERSPECTIVES 61
1. Limites avérées de nos résultats 61
1.1 … en lien avec un projet en cours de développement 61
1.2 … en lien avec un projet novateur 62
2. Bilan « digestat-dépendant » 62
3. Le futur du projet de Puylaurens 63
3.1 Une remise au point en interne 63
3.2 Impulsion nationale de la méthanisation territoriale ? 63

CONCLUSION GENERALE 66

RESSOURCES BIBLIOGRAPHIQUES 67

TABLE DES ANNEXES 70

Table des illustrations

Figure 1 : Découpage régional Arterris 8
Figure 2 : Bilan matière schématique de la méthanisation 10
Figure 3 : Localisation de la zone d'étude 14
Figure 4 : Schématisation de la libération d'azote à partir du digestat solide 24
Figure 5 : Minéralisation moyenne de l'azote organique des matières organiques 25
Figure 6 : Paysages type du territoire étudié 29
Figure 7 : Méthode de calcul des besoins en fertilisants 30
Figure 8 : Délimitation des zones de calcul, exemple de Puylaurens 31
Figure 9 : Taux de matière organique des sols du territoire 37
Figure 10 : Modèle bicompartimental d'évolution de la matière organique dans le sol 38
Figure 11 : Paramètres régissant la volatilisation de l'ammoniac dans le sol 44
Figure 12 : Modèle simplifié des cinq forces de Porter 52
Figure 13 : Atouts marketing des digestats de méthanisation 59

Tableau 1 : Synthèse des projets de méthanisation existants 10
Tableau 2 : Bilan économique par kW électrique installé 11
Tableau 3 : Paramètres estimés par le logiciel de digestion SOLAGRO 16
Tableau 4 : Coefficient d'équivalence engrais des engrais de ferme 21
Tableau 5 : Composition estimée du digestat de méthanisation du projet de Puylaurens 23
Tableau 6 : Composition moyenne en MS, MO, N, P, K des effluents de ferme 24
Tableau 7 : Exigence des cultures en PK 32
Tableau 8 : Elevages et effectifs recensés dans le secteur de Puylaurens 34
Tableau 9 : Quantification des surfaces cultivées dans le secteur de Puylaurens 38
Tableau 10 : Calendrier d'apport des digestats préconisé 40
Tableau 11 : Relation volume de digestat solide - quantités d'éléments apportées 41
Tableau 12 : Besoins estimés en phosphore de chaque culture 41
Tableau 13 : Pratiques actuelles d'épandage 42
Tableau 14 : Atouts principaux de chaque option d'adaptation 47
Tableau 15 : Avantages/inconvénients de chaque appareil d'épandage de digestat liquide 47
Tableau 16 : Estimation du surcoût de séchage de digestat 51
Tableau 17 : Valeur des unités fertilisantes minérales 53
Tableau 18 : Décomposition du prix des composts Arterris 54
Tableau 19 : Comparaison des prix et valeurs des matières en concurrence sur le marché 55
Tableau 20 : Commercialisation du digestat solide 57
Tableau 21 : Commercialisation du digestat liquide 58
Tableau 22 : Part des éleveurs dans la fourniture de déchets en entrée 58
Tableau 23 : Exemple de changement de PNAQ pour une entreprise locale 65

Table des abréviations

ACV : Analyse de Cycle de Vie
CA : Chambre d'Agriculture
CB : Compost de Boues
CDV : Compost de Déchets Verts
CEC : Capacité d'Echange Cationique
CET : Centre d'Enfouissement Technique
C/N : Rapport Carbone sur Azote
CUMA : Coopérative d'Utilisation du Matériel Agricole

DL : Digestat Liquide
DS : Digestat Solide

DCO : Demande Chimique en Oxygène
ETA : Entreprise de Travaux Agricoles
ETM : Elément Trace Métallique
GES : Gaz à Effet de Serre
IAA : Industrie Agro-alimentaire
ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
ISB : Indice de Stabilité Biologique
K, K_2O : Potassium
MB : Matière Brute
MS : Matière Sèche
MO : Matière Organique
N : Azote
Norg : Azote sous forme organique
Nmin : Azote sous forme minérale
NH_4 : Azote ammoniacal
P, P_2O_5 : Phosphore
PK : Phosphore et Potassium
PNAQ : Plan National d'Attribution de Quotas (de CO_2)
STEP : Station d'Epuration
SAU : Surface Agricole Utile
SPE : Surface Potentiellement Epandage
TTCR : Taillis Très Courte Rotation
URE : Unité de Réduction d'Emission (de GES)
ZV : Zone Vulnérable selon la Directive Nitrates

d : densité
Ha : hectare
Kg : kilogramme
l : litre
m^2 : mètre carré
m^3 : mètre cube
t : tonne

Introduction

Les énergies renouvelables ont le vent en poupe : les préoccupations de réduction des gaz à effet de serre et de la consommation de produits pétroliers gagnent les législateurs, les entreprises et les particuliers. L'ampleur prise par le débat sur l'application de la taxe Carbone en est une preuve récente.

Plusieurs types de sources d'énergie sont renouvelables : l'énergie solaire, éolienne, géothermique ou l'énergie de la biomasse, puisque la biomasse est produite par photosynthèse. Cette dernière catégorie concerne les filières biocarburants, biocombustibles et biogaz.

La loi du 13 juillet 2005 fixant les orientations de la politique énergétique nationale (loi POPE) établit que d'ici 2010, 10% de nos besoins énergétiques devront être couverts de manière renouvelable. Selon les dernières données de l'Institut Français de l'Environnement, les énergies renouvelables ne représentent que 6.6% de la consommation énergétique en 2007. Une multiplication sur le territoire d'installations de production d'énergies renouvelables est donc plus que nécessaire pour atteindre ces objectifs.

Dans ce travail, nous parlerons aussi d'une production d'énergie renouvelable : la production de biogaz à partir de biomasse. Ce processus se nomme méthanisation car plus de 60% du biogaz est en fait du méthane CH_4. Ce n'est pas une découverte : en 1776, Volta constata que les marais dégageaient naturellement un gaz, qui, après étude, s'avéra inflammable. Lavoisier en 1787 le nomma *« gas hidrogenium carbonatum »*, avant que le mot « méthane » ne s'impose dans les années 1900. Entre temps, la présence de ce même gaz fut mise en évidence dans d'autres milieux, dont les fumiers de ferme ; et son origine fut attribuée à une fermentation anaérobie.

La méthanisation est *a priori* une belle opportunité pour les milieux agricoles. En effet, ceux-ci regorgent de déchets fermentescibles jusqu'ici non valorisés énergétiquement : effluents de ferme, déchets de transformations agroalimentaires, résidus de culture, etc. Arterris, coopérative agricole au sein de laquelle j'ai effectué mon stage de fin d'études, compte bien valoriser ce potentiel dès que possible. Néanmoins, un tel projet ne se fait pas du jour au lendemain, sous peine de le mener à l'échec. La mission qui m'a été confiée entre dans le cadre de l'étude de faisabilité qui précède tout projet de méthanisation.

Nous allons dans un premier temps identifier les enjeux et acteurs de ce travail. Cela permettra de définir la problématique de stage puis la méthodologie suivie au cours des six mois passés au sein de la coopérative. Ensuite, quatre volets de résultats seront détaillés. La dernière partie traitera des limites de ces résultats et des perspectives futures de la méthanisation au sein d'Arterris.

Partie I : Contexte général en amont de l'étude

1. Présentation de la coopérative Arterris

J'ai effectué mon stage de fin d'étude au sein de la coopérative Arterris. La structure coopérative est un système original, décrit dans l'Annexe 1. Je travaillais au sein du service Recherche, Développement et Innovation, encadrée par Anne Paulhe-Massol.

Arterris est une coopérative récente, issue de la fusion fin 2008 de trois coopératives régionales : la Toulousaine de Céréales, le Groupe Coopératif Occitan et Audecoop. Elle fédère aujourd'hui 15 000 adhérents répartis en Midi-Pyrénées et Languedoc-Roussillon. Son siège social se trouve à Castelnaudary (11) mais elle a conservé les lieux de travail des trois coopératives, dont celui de Toulouse où mon stage s'est déroulé.

Le groupe Arterris est une structure polyvalente qui gère une filière céréales (approvisionnement en matières premières, collecte et commercialisation mondiale), une filière cultures pérennes (viticulture et arboriculture), une filière animale (production, transformation, vente) et diverses filiales. Arterris se place au premier rang national des producteurs de blé dur, de tournesol et de sorgho et devient le premier multiplicateur de semences du sud de la France. La coopérative emploie 670 salariés pour un chiffre d'affaires de 450 M€ ; le groupe (coopérative + filiales) Arterris emploie 1100 personnes et génère 600 M€ par an. Un détail de son historique, fonctionnement et activité est fourni dans l'Annexe 2.

Dans son fonctionnement, le territoire est découpé en sept régions (Figure 1), en respectant l'orientation des agriculteurs présents.

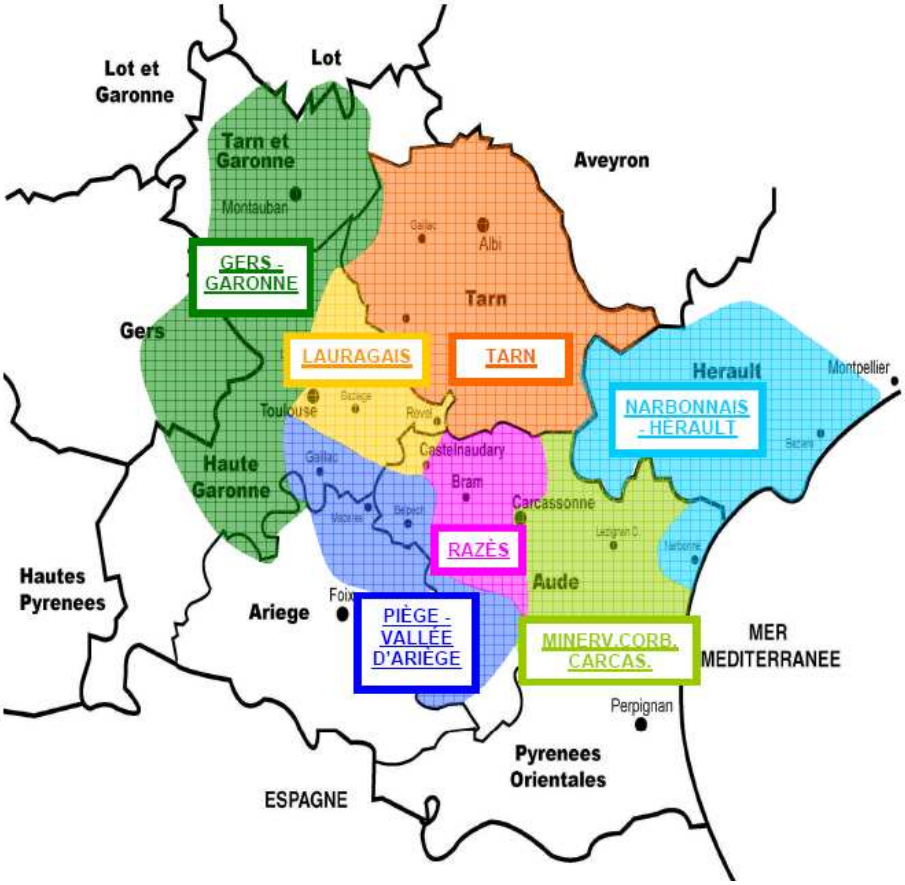


Figure 1 : Découpage régional Arterris (source : Arterris)

Certaines régions sont spécialisées en céréaliculture (Lauragais, Gers-Garonne, Razès), d'autres en viticulture-arboriculture (Narbonnais-Hérault, Carcassonnais, Minervois-Corbières); les régions Piège et Tarn sont des zones de polyculture-élevage. Dans chaque région, des techniciens de terrain suivent et conseillent les agriculteurs individuellement, sous la responsabilité du chef de région auquel il est affilié.

Dans une structure comme Arterris, il est indispensable de faire évoluer les outils de travail, d'innover, de créer de la valeur ajoutée pour être compétitif et prendre une longueur d'avance sur les marchés agricoles : c'est le rôle du service Recherche, Développement et Innovation. Il est dirigé par ma maître de stage sous la responsabilité de Guillaume Duboin, directeur général adjoint d'Arterris. L'activité RDI peut être divisée en quatre pôles : bioproduits ou « chimie verte », systèmes de culture, alimentation/nutrition/santé et énergies renouvelables. Dans ce dernier, on étudie le développement du solaire photovoltaïque, de la valorisation biomasse (méthanisation) et du petit éolien, en partenariat avec des sociétés spécialisées.

2. Un marché d'engrais mondial et fluctuant

Un rôle important et historique des coopératives est la fourniture d'engrais et amendements à des prix compétitifs aux agriculteurs et cela se traduit dans le chiffre d'affaires. Chez Arterris, l'activité approvisionnement totale (engrais, semences et produits phytosanitaires) génère environ un quart du chiffre d'affaires global et mobilise un service d'une quinzaine de personnes.

A l'heure actuelle, c'est le trio « NPK » minéral qui représente la quasi-totalité de la demande fertilisante au sein de la coopérative, loin devant les engrais organiques de type compost. Ce trio est la combinaison sous forme minérale des éléments azote, phosphore et potassium, proposés sous diverses formulations (simple/binaire/ternaire) et conditionnements (liquide/granulé). Ces engrais sont des substances d'origine minérale, produites par l'industrie chimique ou par l'exploitation de gisements naturels aux quatre coins de la planète ; leur fabrication entraîne donc des coûts variables de production. Par exemple, l'ammoniac, un engrais azoté simple majeur, est fabriqué à partir de gaz naturel. Au premier semestre 2008, une très forte augmentation du prix mondial du gaz a entraîné le triplement du cours de l'ammonitrate (cf. Annexe 3). En parallèle, en 2008 toujours, l'augmentation de la demande des pays asiatiques a réduit les volumes disponibles pour le reste du monde, mettant la capacité d'approvisionnement des coopératives françaises en péril. Autant d'éléments qui perturbent souvent l'équilibre offre/demande et donc les cours mondiaux des engrais.

Les coopératives individuelles, malgré leur taille croissante et leur rassemblement en groupements d'achat, restent vraiment soumises à ces aléas mondiaux. La situation critique de 2008 a tiré la sonnette d'alarme au sein d'Arterris. Il s'agit désormais de varier les sources d'approvisionnement en éléments fertilisants. On recherche des sources plus sécurisées, fiables, tout en restant dans les gammes de prix mondiaux.

La production de fertilisants par méthanisation (appelés digestats) peut être l'une de ces voies de diversification. Ce n'est pas nouveau : dans les années 1970, à la suite du premier choc pétrolier, la méthanisation avait été l'une des voies envisagées par les pouvoirs publics pour diversifier l'offre *énergétique* française… Les coopératives y voient aujourd'hui un double intérêt : énergétique et « fertilisant » : **mon stage résulte d'une volonté d'en savoir plus et de développer cette opportunité qu'est la méthanisation.**

3. La méthanisation dans les territoires agricoles

3.1 Une multitude de projets envisageables

Un projet de méthanisation consiste en une fermentation anaérobie de la fraction organique des déchets ; fermentation qui produit du biogaz (composé à plus de 60% par du méthane) ainsi qu'un résidu appelé digestat (Figure 2). Pour les détails biologiques, on se réfèrera à l'Annexe 4.

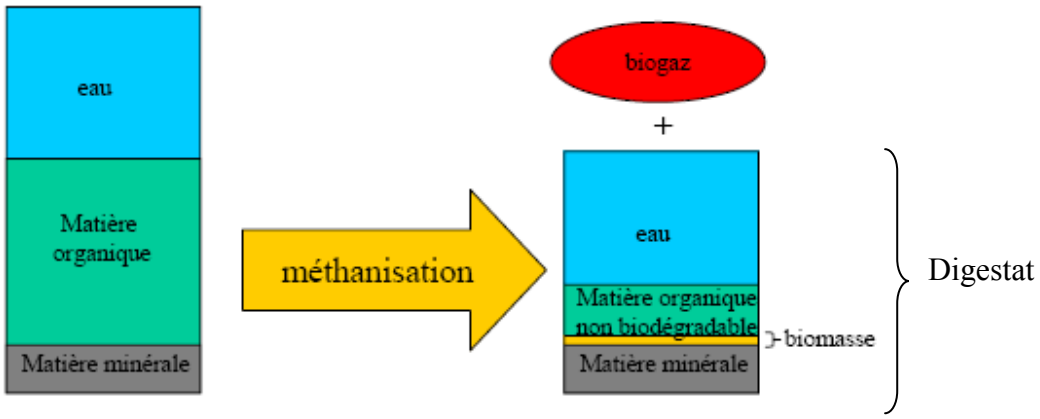


Figure 2 : Bilan matière schématique de la méthanisation (source : APESA, 2007)

Dans les faits, on distingue plusieurs types de méthanisation selon l'origine des déchets en entrée, les caractéristiques du process employé ou le but affiché du projet. Le tableau suivant (Tableau 1) synthétise la situation actuelle en matière de méthanisation; une explication plus détaillée est fournie en Annexe 5.

Méthanisation :	**Industrielle**	**des Collectivités**	**Agricole**	**Territoriale**
Déchet en entrée (exemples) :	- Brasseries - Caves vinicoles	- Ordures ménagères - Boues de STEP	- Fumiers - Lisiers	*Trois catégories précédentes*
Objectif principal :	- Réduction volume & charge polluante		- production d'énergie - exportation des excédents N et P - diminution des nuisances	- Production d'énergie verte
Autres objectifs :	- diminution coûts de traitement /filière aérobie - diminution Gaz Effet Serre	- production énergie renouvelable - diminution nuisances		- valorisation économique du digestat - création dynamique territoriale
Modèles actuels :	Europe	Europe	- Allemagne - Chine, Inde	- Danemark
Nombre unités en France :	-100 (2004)	- boues de STEP : 140 (2004) - OM : 6 (2008)	- 4 (2008)	- 4 (2009) - ~10 en cours
Tendance d'évolution 2013	de + 21 à + 39	de + 13 à + 40	Gros potentiel (+1000)	de + 9 à + 15
Source données :	*Gaz de France, 2003*	*Gaz de France, 2003*	*Club Atee-biogaz*	*Gaz de France, 2003*

Tableau 1 : Synthèse des projets de méthanisation existants (source : M Etchart)

En parallèle, on classe les unités de méthanisation selon deux critères techniques-clé:

- La température de la digestion : thermophile (55°C) ou mésophile (35-37°C)
- L'humidité du mélange : méthanisation « en phase sèche » (siccité comprise entre 20 et 45%, résidu pelletable) ou méthanisation « infiniment mélangée / liquide » (siccité inférieure à 20%, résidu pompable).

Les types thermophiles et « infiniment mélangé » sont les plus nombreux à l'échelle européenne [Gaz de France, 2003].

3.2 Zoom sur la méthanisation territoriale

Les projets de méthanisation territoriale (dernière catégorie) consistent en une codigestion, c'est-à-dire une méthanisation d'effluents d'origine diverse : agricole, industrielle et des collectivités. On utilise l'adjectif « territorial » car tout se fait à l'échelle d'un territoire d'environ 50 km de rayon : collecte multicritère des déchets organiques et valorisation des digestat et biogaz produits. Les enjeux de collecte et de valorisation en sortie sont détaillés dans l'Annexe 6. On parle aussi de méthanisation « collective » ou « partagée ». Le porteur de ce type de projet peut être :

- Un industriel ou un agriculteur dont le projet personnel n'est pas viable, qui recherche des effluents et/ou débouchés supplémentaires
- Une collectivité qui veut impulser une dynamique locale
- Une société qui propose une prestation de service, une externalisation des coûts/contraintes de chacun tout en tirant profit du process (production d'énergie et de matière fertilisante).

Tout l'enjeu est de concilier les enjeux des différents acteurs, décrits dans le tableau précédent, tout en assurant la rentabilité de l'installation. Dans les conditions économiques et réglementaires actuelles, et l'amont et l'aval doivent être sécurisés (Tableau 2, chiffres purement indicatifs) ; il faut compter des Taux de Retour sur Investissement d'environ 10 ans sans subventions. Dans notre cas, l'investissement global par unité tournerait autour de 3-4 millions d'euros pour une puissance d'environ 500 KW.

Produits		Charges	
Redevance ou prestation de traitement de déchets (10€/tonne[26])	de 0 € à 2.000 €	Consommables, assurances, analyses, frais divers (0,8 à 1% du CA)	10 €
Vente ou valorisation de chaleur (économies réelles)	de 0 € à 40 €(*)	Personnel (250 à 300h/an minimum)	40 €
Vente d'electricité (0,14€/kWh pour 8.000 heures) *maximum*	1.120 €	Entretien, suivi et maintenance (moteur principalement) *souvent = 8 à10% de la valeur des investissements*	de 450 à 500 €
Vente ou valorisation reelle du digestat	*à déterminer*		
total	**1.150 €**	**total**	**550 €**
		Marge pour le calcul du TRI :	600 €
Totaux égaux	**1.150 €**	**Totaux égaux**	**1.150 €**

(*) = jusqu'à 500€ potentiellement (voir § 5). Un ordre de grandeur circule en matière de prix de vente de la chaleur avec une valeur indicative de 40 €/MWh thermique :

- ainsi pour une puissance installée de 1 kW électrique, fournissant 8.000 kWh électriques,
- en ayant mobilisé trois fois plus d'énergie issue du biogaz = soit 24.000kWh PCI,
- la chaleur récupérable pour une distribution par réseau représente 50% de la chaleur initiale, c'est-à-dire 10 à 12.000 kWh = 500 € pour la vente de chaleur / kW électrique installé.

Tableau 2 : Bilan économique par kW électrique installé (source : Femenias, 2008)

Il s'agit donc d'une part de facturer la prestation de traitement des déchets organiques collectés alors même qu'engager les partenaires sur plus de 15 ans est délicat, surtout lorsque leurs déchets sont convoités par d'autres filières. Il s'agit d'autre part de valoriser localement le biogaz et le digestat à des tarifs d'achat suffisants. La valorisation économique du biogaz, après transformation en {électricité + chaleur} comme c'est pratiqué actuellement ou mieux, par injection directe dans les réseaux de gaz, est un sujet d'actualité débattu au niveau national, une question cruciale pour le développement de la filière.

La rentabilité d'un projet est donc multicritère (cf. Annexe 7) **et difficile à garantir**. Pour preuve, plusieurs tentatives de projet ont avorté dans le nord de la France. Les prévisions de l'ADEME à l'horizon 2013 retranscrivent ces difficultés.

On cite souvent le modèle danois comme référence de méthanisation collective. A partir des années 1980, ce pays a développé des unités de méthanisation collective [Raven, 2004 ; Al Seadi, 2000]. A la base, on trouve un groupement d'éleveurs qui souhaitent diversifier leurs revenus. Ces installations collectives reçoivent environ un quart de déchets extérieurs, provenant d'industries locales ou des collectivités (déchets verts, boues). Elles sont soutenues par un tarif d'achat préférentiel de l'électricité et surtout des réseaux de chaleur performants. La valorisation du digestat passe par son injection dans les terres arables des associés et aussi des céréaliers voisins ; ce qui diminue la pression azotée dans les exploitations engagées [Femenias ; 2008].

La création d'une unité de méthanisation est complexe ; elle dépasse le domaine de compétence de la coopérative, qui s'est donc tournée vers une société spécialisée : Valorem.

4. Partenariat développé avec Valorem

Avant la fusion, les groupes Oxalliance et Groupe Coopératif Occitan s'étaient déjà intéressés séparément à la méthanisation sur leur territoire. Depuis la fusion, Arterris a repris le flambeau en collaboration avec la société Valorem.

4.1 VALOREM, une société développant les énergies renouvelables

VALOREM est une société créée en 1994, spécialisée dans le développement et la production d'énergies vertes et renouvelables. La société de 70 personnes compte plusieurs agences sur le territoire, dont une à Carcassonne. Valorem a débuté son activité par le développement de parcs éoliens à travers la France. La publication de l'arrêté du 10 juillet 2006 fixant les conditions de rachat d'électricité aux installations utilisant l'énergie du soleil a marqué un soutien national à des énergies renouvelables autres que l'éolien. Dès lors, Valorem a entamé une diversification de son activité dans la filière biomasse (bois énergie et méthanisation), le photovoltaïque et l'énergie marine. La société a pour ambition de développer, sur tout le territoire, le bouquet énergétique localement disponible en répondant aux besoins des habitants.

Pour les projets de méthanisation, Valorem s'associe à l'association SOLAGRO. Cette dernière travaille sur toutes les énergies renouvelables, sur le lien agriculture-énergie depuis 1981. Solagro étudie depuis sa création toutes les filières de méthanisation et de valorisation du biogaz ; ce qui lui confère une expertise reconnue au niveau européen.

4.2 Pourquoi le choix de la méthanisation territoriale ?

Valorem a une expérience de développement de projets multi-acteurs dans le secteur éolien. Cette société ne dispose pas de déchets en propre mais propose un outil de développement du territoire.

Il permet de concilier les intérêts des acteurs, dans une dynamique de développement durable :

- Traitement des déchets organiques (économie + environnement)
- Production d'une énergie valorisable localement (économie + environnement)
- Développement de l'économie du territoire : création d'emploi, compétitivité des entreprises et exploitations agricoles partenaires (social).

Au préalable, Valorem avait effectué une étude en interne afin de localiser les gisements de déchets de l'industrie agroalimentaire dans le grand Sud. La zone Midi Pyrénées- Languedoc Roussillon s'est révélée propice au développement d'un tel projet de par la multitude de « petits » gisements présents.

De son côté, le groupe Arterris fédère 21 000 agriculteurs donc tient *a priori* en main un gros gisement agricole. Par ailleurs, il possède des industries de transformation agro-alimentaires, des parts dans des sociétés qui traitent leurs effluents en STEP…donc autant de déchets peu ou pas valorisés pour l'instant. Arterris préfère donc s'investir dans un projet qui intègre plusieurs catégories de déchets organiques. De plus, Arterris est un acteur qui fédère les agriculteurs du territoire ; elle a donc aussi une expérience dans les projets territoriaux.

D'où la décision fin 2008 de lancer conjointement les démarches de méthanisation collective, en créant une société d'exploitation, Valterris. Les démarches s'échelonnent sur trois ans (cf. Annexe 8), en trois principales étapes : une phase de diagnostic de territoire qui, si elle s'avère concluante, précède une phase administrative puis la phase finale de construction. Cela sous-entend une participation des élus et instances administratives ; donc autant d'acteurs à mobiliser, convaincre et impliquer !

Mon stage s'est déroulé de mars à septembre 2009, c'est-à-dire au cours de la première phase de diagnostic (l'étude de préfaisabilité).

4.3 La problématique digestat est confiée à Arterris

Nous avons vu que la valorisation du digestat est aussi un point-clé de la rentabilité d'un projet territorial. Au sein du partenariat Arterris-Valorem, la gestion des matières organiques et des fertilisants est déjà une compétence de la coopérative. C'est aussi un point stratégique vu l'instabilité actuelle du marché des fertilisants. Enfin, la question des digestats implique surtout le monde agricole local ; des agriculteurs en partie associés coopérateurs à Arterris. En conséquence, **la gestion de la problématique digestat au sein du partenariat Arterris-Valorem incombe principalement à la coopérative.**

5. Définition de la problématique du stage

Au sein du projet méthanisation, Arterris est en charge de proposer un schéma de valorisation du digestat de méthanisation territoriale. Au début du projet (début 2009), même si Arterris maîtrise la filière classique des fertilisants, elle n'a pas les connaissances suffisantes pour offrir une réponse sur les digestats.

Mon stage portera donc sur la gestion et la valorisation des digestats de méthanisation territoriale, au sein des projets nouvellement lancés avec l'entreprise Valorem.

5.1 Deux territoires d'étude : Castelnaudary et Puylaurens

Avant mon arrivée, en février 2009, le partenariat de méthanisation s'était déjà concentré sur deux territoires d'Arterris (Figure 3): le territoire autour de Castelnaudary dans l'Aude (11) et celui autour de Puylaurens dans le Tarn (81).

Figure 3 : Localisation de la zone d'étude (source : M Etchart, outil Arcgis)

Un projet de méthanisation territoriale se dessine dans un rayon de 50 kilomètres autour de l'unité. Plus précisément, on recherche les déchets produisant peu de méthane (agricoles) dans un rayon de 10 km ; les effluents très méthanogènes (des IAA) dans les 50 km. Le classement des effluents en fonction de leur potentiel méthanogène est donné en Annexe 6, partie 1.1. Les débouchés biogaz (ou électricité et chaleur) sont recherchés à moins de 2 km et conditionnement souvent le lieu d'implantation de l'unité. Sur le territoire couvert par Arterris, plusieurs projets sont envisageables. Ils pourront être lancés ultérieurement – c'est même l'objectif d'Arterris- en se servant des conclusions du travail en cours.

A Puylaurens, les élus et particulièrement sa mairesse Anne Laperrouze (ancien député européen en charge de questions d'énergie) souhaitent fortement qu'une unité de méthanisation soit créée sur leur commune. Ce soutien politique, condition quasi *sine qua non* du bon déroulé d'un projet, a incité les partenaires à initier les démarches sur Puylaurens.

Le territoire de Castelnaudary a quant à lui été retenu car c'est le cœur d'Arterris : le siège social y est installé. Autour du siège, une unité de production d'aliments du bétail ainsi que

des silos Arterris de stockage et séchage de grain sont implantés. Qui plus est, c'est une zone de transformation agroalimentaire ; on y fabrique le fameux cassoulet de Castelnaudary. Autant d'entités susceptibles de faire partie d'un projet viable.

5.2 Attentes d'Arterris sur le travail présent

La coopérative n'a pas d'*a priori* sur les résultats à obtenir, elle est ouverte à toutes propositions innovantes et attend que le travail lance des pistes de réflexion sur diverses possibilités de gestion, à court et long terme. Nous sommes en effet bien conscients que nous ne pourrons pas ficeler la question du digestat en six mois pour un projet qui va évoluer tout le long des trois années qu'il nécessite.

Par ailleurs, la coopérative ne souhaite pas que je produise des modèles généraux de gestion et valorisation de digestats, mais bien une réponse appliquée aux projets de Puylaurens et Castelnaudary ; ce qui suppose de bien connaître le territoire. En particulier, le travail devra permettre à la coopérative de positionner son offre marketing et commerciale sur les produits « digestat ».

Toutefois, toutes les solutions envisagées, même celles qui ne s'appliquent pas à Castel & Puylaurens devront être présentées, ainsi que la démarche totale. En effet, cette dernière a vocation à être réutilisée dans des futurs projets, sur d'autres territoires Arterris.

Concrètement, le travail devra répondre aux questions suivantes :

- Que sait-on sur le digestat ? sur ses propriétés fertilisantes ?
- Quel est le rapport offre/demande sur le territoire ?
- Faut-il reconditionner le digestat ?
- Implique-t-il des changements de pratiques agricoles ? De logistique ? Si oui, dans quelle mesure ?
- Quelle est sa valeur commerciale ? Ses avantages/inconvénients par rapport aux autres fertilisants ? …

5.3 Matériels et méthodes

5.3.1 Première phase de description

Puisque l'on travaille sur un projet local, le premier travail consistera à en savoir plus sur les territoires de Castelnaudary et Puylaurens. Pour la partie purement agricole, nous interrogerons les chefs de région et techniciens de terrains Arterris concernés. Nous rencontrerons aussi les personnes en charge de la fertilisation et de l'agronomie au sein d'Arterris. Outre ces témoignages, nous rechercherons des éléments (statistiques, rapports divers) dans la bibliographie et nous nous rendrons aussi souvent qu'il est nécessaire sur le terrain. Au cours de cette étape, nous n'irons pas voir les agriculteurs eux-mêmes, c'est une des spécificités de ce projet (cf. Partie IV, 3.1).
Il est aussi nécessaire de s'intéresser à la dynamique des autres acteurs afin de saisir les tenants et aboutissants du projet dans son ensemble. Cela passe par la participation à des réunions « méthanisation » avec les élus, avec des industriels intéressés ou à intéresser, voire avec des autorités administratives.

Puisqu'on travaille sur une thématique nouvelle pour la coopérative, il faudra en parallèle rechercher dans la bibliographie tout ce qui a trait aux digestats de méthanisation. Valorem travaille sur un projet similaire en Bretagne, à un stade plus avancé : un échange d'information entre les deux projets sera aussi utilisé. Par ailleurs, Solagro apportera sa connaissance générale en la matière. A ce stade avancé du projet, aucune expérimentation

n'est envisagée pour caractériser le digestat ; nous utiliserons plutôt les outils de simulation développés par Solagro.

5.3.2 Deuxième phase d'approfondissement

C'est au cours de cette phase que nous essayerons de répondre aux questions listées précédemment. Nous ferons appel aux spécialistes au sein d'Arterris : service agronomique, service approvisionnement engrais et au service collecte pour la gestion de la logistique de transport. Nous contacterons aussi des entreprises et instituts extérieurs. Enfin, nous mettrons encore à profit le partenariat Arterris-Valorem-Solagro.
Ce travail a été effectué en priorité sur le territoire de Puylaurens : les données chiffrées proviennent de Puylaurens mais la démarche pourra être réutilisée à Castelnaudary.

5.3.3 Phase de vérification des options envisagées

La présentation des options envisagées aux agriculteurs permettra de valider/infirmer certaines options choisies, et d'en découvrir d'autres. Pour cela, en partenariat avec Valorem, nous irons rencontrer certains agriculteurs « types » et instances agricoles (chambres d'agriculture) puis nous organiserons une table ronde centrée sur le thème du stage avec ces mêmes partenaires. D'autre part, les résultats seront présentés à la commission Recherche, Développement et Innovation d'Arterris. La commission évaluera aussi la pertinence du schéma proposé.

5.4 Hypothèses de départ concernant le digestat

On part du principe que le digestat a une valeur agronomique, donc on écarte d'emblée une gestion par incinération, mise en décharge ou utilisant tout traitement qui viserait à réduire la composition en azote, phosphore, potasse, oligo-éléments et MO du digestat. D'autant plus que « nous ne sommes pas en Bretagne » ; autrement dit, la pression azotée sur les territoires n'est pas d'actualité dans notre bassin et ne nous oblige pas à exporter/éliminer les éléments fertilisants [Dutry, 2008]. Au contraire, on s'attend plutôt à une demande bien supérieure à l'offre.

Ensuite, la caractérisation agronomique du digestat sera basée sur l'estimation réalisée par Solagro. L'association dispose d'un logiciel qui calcule la composition (Tableau 3) du digestat de méthanisation après avoir entré la quantité et la nature des affluents récoltés.

MB : matière brute (tonne)
MS : matières sèches (% de MB)
MO : matière organique (% de MS)
Norg : azote organique (% de MB)
NH_4 : azote ammoniacal (% de MB)
N total : azote total (% de MB)
P_2O_5 : phosphore total (% de MB)
K_2O : potassium total (% de MB)

Tableau 3 : Paramètres estimés par le logiciel de digestion SOLAGRO (source : Solagro)

En sortie de méthaniseur, nous appliquerons une séparation de phase au digesteur, séparation mécanique ou par centrifugation (à définir). Ce traitement est souvent appliqué au Danemark [Al Seadi, 2000] ainsi que sur les autres projets de méthanisation en France. En effet, cette opération permet de passer d'un produit de type boue d'épuration à un digestat liquide (DL) ayant la texture d'un lisier (environ 3% de MS) et à un digestat solide (DS) ayant la texture d'un compost (environ 30% de MS). On obtient ainsi des textures connues dont les

techniques d'épandage sont connues. La séparation de phases est aussi un préalable à des traitements ultérieurs. Ainsi, dans le projet breton Geotexia, la phase solide est séchée pour produire un engrais sec ; la phase liquide est quant à elle concentrée par évaporation puis osmose inverse.

Pour le reste, toutes les solutions sont envisageables pour Arterris, tant qu'elles restent cohérentes au plan énergétique, agronomique et économique.

5.5 Spécificités de cette étude

5.5.1 Travailler au rythme et au sein d'un projet en cours

La phase de diagnostic du projet a vraiment commencé en janvier 2009, et va durer au moins jusqu'à la fin de l'année. Au fil du temps, on intègre un nouveau partenaire industriel dans le projet, on en supprime un autre, on revoit les ressources agricoles à la baisse/hausse… autant d'évènements qui ont un impact sur la nature du digestat en aval. En conséquence, Solagro a effectué des simulations successives pour actualiser la composition des digestats. Ce sont donc des interprétations agronomiques qui varient (par exemple, le volume d'apport préconisé), et qu'il faut traiter avec précaution, jusqu'à que le projet soit ficelé et sous contrat !

Par ailleurs, avancer au rythme d'un projet global, c'est aussi rencontrer les acteurs du territoire dans un ordre établi. Ainsi, la rencontre des agriculteurs et le recueil de leur point de vue sur le projet n'aura lieu qu'après une réunion d'information collective, pour éviter le bouche à oreille « incontrôlable ». Cela fait partie de la méthode de travail de Valorem. Alors, le recueil des informations agricoles, qui précède nécessairement les réunions d'information, devra se faire au sein de la coopérative et non au contact direct des agriculteurs.

Enfin, même si l'on ne travaille que sur la problématique digestat, il faut en permanence se tenir informé des avancées des autres postes et faire des liens. Par exemple, le tarif de vente à EDF de l'électricité issue du biogaz est conditionné par le taux de valorisation de la chaleur générée (cf. Annexe 6). Dans le projet, si les débouchés de valorisation de chaleur manquent, le séchage du digestat devra être une option à étudier.

5.5.2 Travailler sur un projet de R&D « pionnier »

Vu la place occupée par la méthanisation dans le secteur des MO, les chercheurs s'intéressent peu au digestat de méthanisation, et encore moins aux digestats issus de codigestions. Les références agronomiques manquent.

Par ailleurs, la filière s'organise actuellement en France : on sent un manque d'expérience général en la matière !

Partie II : Le digestat : état de l'art

La coopérative se trouve face à une matière organique nouvelle, le digestat : une recherche bibliographique est nécessaire pour caractériser cette matière avant d'envisager une diffusion quelconque sur le territoire.

1. La qualité agronomique des digestats

Selon Solagro [Solagro, 2004], la valeur agronomique d'un substrat organique se définit par deux familles de critères fondamentaux :

- des critères d'innocuité, qui regroupent les risques potentiels du retour au sol du produit : apport de micropolluants organiques (hydrocarbures, pesticides, PCB, dioxines), d'éléments traces métalliques (As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn), d'agents microbiologiques (virus, bactéries, parasites) et d'inertes (plastiques, verres, métaux)

- des critères d'efficacité, qui regroupent les impacts positifs du retour au sol du produit concerné : modification des propriétés physiques du sol (rétention en eau, résistance à la compaction, porosité totale), modification de ses propriétés biologiques (biomasse microbienne, activité biologique, présence de macrofaune) et effet fertilisant (apport d'azote, phosphore, potassium, soufre, calcium, magnésium et oligo-éléments).

Vu que nous n'en sommes qu'au stade de préfaisabilité du projet, la réponse à la plupart de ces questions ne peut passer que par une recherche bibliographique ; la mise en place d'expérimentations étant pour l'instant hors de propos. Solagro a effectué en 2004 une synthèse bibliographique de la qualité agronomique des digestats, en se basant sur les données scientifiques disponibles à l'échelle européenne (France et Allemagne principalement) et l'inventaire national des essais agronomiques fourni par l'Ademe. Par ailleurs, un colloque international, le CODIS s'est tenu en février 2008 en Suisse sur le thème *« Compost and digestate : sustainability, benefits, impacts for the environment and for plant production ».* Les résultats bibliographiques ci-après se fondent principalement sur ces deux sources de données. Ensuite, les résultats bibliographiques obtenus sur l'effet fertilisant des digestats ont été appliqués au projet de Puylaurens.

Solagro signale d'une manière générale un manque de clarté dans l'ensemble des publications sur la place de la digestion dans la chaîne de traitement (avant compostage ou non, combiné à une phase de traitement aérobie ou non, etc.) ; ce qui rend les résultats inexploitables. D'autre part, la mise en place d'essais agronomiques de longue durée permettrait d'apporter des résultats pertinents quant à l'impact relatif des digestats sur les propriétés physiques et biologiques des sols.

1.1 L'innocuité des digestats de méthanisation

1.1.1 Devenir des micropolluants organiques

La plupart des composés organiques volatiles sont biodégradables par fermentation anaérobie. C'est le cas des acides organiques, alcools, mais aussi des composés aromatiques monocycliques comme le benzène et le toluène. On note que les microorganismes présents dans les biodéchets sont capables de dégrader entièrement l'acide benzoïque et les composés phénoliques [Apesa, 2007]. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et dérivés halogénés (pesticides, PolyChloroBenzènes et dioxines) sont plus toxiques et persistants ; ils

résistent mieux à la digestion anaérobie. Les HAP halogénés subissent généralement une déhalogénation réductrice, avec formation de composés moins riches en atomes d'halogènes. D'autres, comme le Lindane, aboutissement à des composés moins toxiques. La digestion anaérobie permet de dégrader ou de transformer en composés non ou peu toxiques la plupart des composés aliphatiques ou mono-aromatiques, sous réserve d'une durée de digestion suffisante pour permettre l'acclimatation des bactéries. Les composés cycliques sont plus résistants et partiellement dégradés, parfois en molécules encore toxiques.

On peut comparer ces résultats avec ceux obtenus en dégradation aérobie (compostage). Dans ce dernier cas, les composés halogénés aromatiques ont tendance à se polymériser ; créant ainsi des molécules résistantes à toute attaque bactérienne. D'autres expériences montrent que les mécanismes aérobies peuvent attaquer des molécules qui ne sont pas dégradables par voie anaérobie. D'où la recommandation d'associer les deux pratiques pour éliminer les micropolluants organiques. Les connaissances sur le devenir à long terme des micropolluants dans le sol sont très limitées. Dans tous les cas, la meilleure lutte contre ces polluants consiste à les isoler en amont de digestion, d'autant plus qu'ils risquent d'inhiber l'activité bactérienne (bien qu'aucun exemple ne le montre à ce jour). D'où le tri de matières réalisé en entrée de digesteur (cf. Annexe 6). Les effluents de ferme sont quasi-automatiquement acceptés, sans que leur composition en polluants organiques n'ait été étudiée [Kupper, 2008].

1.1.2 Devenir des Eléments Traces Métalliques

Les ETM ne sont toxiques qu'à forte concentration et s'ils se trouvent sous la forme libre du métal. Toutefois, les populations bactériennes sont capables d'acclimatation à des concentrations élevées (variables selon le métal) si le temps de digestion est suffisant. La digestion anaérobie ne détruit pas les métaux, mais elle modifie leur spéciation. Par exemple, la précipitation des ions sulfures conduit à la formation de sulfates métalliques non solubles et non biodisponibles ultérieurement. Ici aussi, la teneur du digestat en ETM est lié à la matière source : lorsque les déchets fermentescibles sont collectés de façon séparée (ce qui est notre cas), on obtient souvent un digestat qui satisfait les normes d'homologation européennes (norme NFU 44-051 en France) [Solagro, 2004].

1.1.3 Devenir des agents pathogènes

La pathogénicité d'un agent dépend de ses caractères intrinsèques : durée de vie, possibilité de se multiplier, formation de formes de résistance, etc. Les facteurs de digestion mis en jeu sont donc principalement son temps et sa température. L'essentiel de la recherche sur le devenir des pathogènes durant la digestion porte sur les pathogènes affectant l'homme et les animaux [Solagro, 2004]. En effet, il existe peu de travaux concernant les phytopathogènes. Les quelques résultats disponibles sont très satisfaisants : élimination du *Fusarium oxysporum* et du *Globodera pallida* à 35°C en 4 et 10 jours respectivement.

Pour les pathogènes étudiés, la digestion mésophile (si elle est maintenue autour de 37°C, et non moins) permet d'éliminer 99% des populations ; la digestion thermophile 99.99%. Les agents les plus résistants sont le *Clostridium*, les *Bacillus cereus* et certaines formes sporulées qui survivent même à un process thermophile. On peut donc parler d'une hygiénisation par méthanisation, sans toutefois garantir le traitement complet de déchets classés dangereux, comme les déchets d'abattoirs animaux de catégorie 1 (cf. Annexe 6).

1.1.4 Devenir des éléments inertes

La digestion anaérobie ne dégradant que la matière organique, on retrouvera autant d'éléments inertes en sortie qu'en entrée de digesteur (plastiques, verres, etc.).

1.2 Les digestats, fertilisants ou amendements ?

Nous l'avons dit, il existe peu de bibliographie sur les conséquences de l'application de digestat sur les propriétés biologiques du sol, et encore moins concernant les digestats de co-digestion. Les effets fertilisant et amendant sont plus étudiés et peuvent d'autre part être estimés pour nos propres digestats.

1.2.1 Transformation de la matière organique, du N, P et K

1.2.1.1 Au cours de la digestion

La digestion anaérobie conduit à la dégradation d'environ deux-tiers de la MO, c'est-à-dire de ses fractions facilement biodégradables : la lignine est conservée au cours du processus. Notons au passage que la dégradation des molécules volatiles permet une désodorisation complète du digestat, observation qui est faite sur le terrain mais qu'aucune étude scientifique n'a encore établie.

La digestion anaérobie est un procédé conservatif pour les éléments n'entrant pas dans la composition du biogaz, comme le montrent les différents bilans de masse disponibles sur les unités de méthanisation en fonctionnement. Toutefois, conservation de masse n'empêche pas modification de forme. En raison du milieu réducteur, **les composés azotés organiques dégradés au même taux que la MO globale (2/3) ainsi que l'azote minéral présent dans l'affluent se retrouvent exclusivement sous forme d'ammonium ($N\text{-}NH_4^+$), une forme soluble**. L'évolution du phosphore est surtout étudiée dans le cas des boues de STEP car les rejets urbains contiennent la plus forte concentration en cet élément. De manière identique à l'azote, les deux tiers du phosphore contenu dans les matières organique se minéralisent. Toutefois, le phosphore minéral se trouve lui lié aux particules de la fraction solide, et sous diverse formes chimiques. Notons que les traitements physico-chimiques mis en place dans la station d'épuration (en amont) peuvent modifier cette spéciation. L'évolution du potassium est moins documentée, probablement car les questions de pollution liée au potassium sont moins soulevées.

1.2.1.2 Après séparation de phases en sortie du digesteur

La séparation de phases peut être réalisée par procédé mécanique (presse à vis, filtration par tamis, filtre-presse, centrifugation), par évaporation sous vide ou par traitement chimique (ajout d'agents précipitants ($FeCl_3$, $Ca(OH)_2$, etc.)). Les coûts d'investissement et les taux de séparation varient, mais toutes les méthodes reposent sur le même principe : les éléments solubles se retrouvent dans la fraction liquide et les insolubles dans la fraction solide.

Dans le cas des codigestions, SOLAGRO estime qu'après séparation mécanique des phases, 75 % de la matière sèche se retrouve dans la fraction solide. De plus, environ 70% du phosphore se retrouve dans la partie solide alors qu'environ 85% de l'azote ammoniacal et 60% du potassium se trouvent dans la partie liquide. Schématiquement, on obtient donc avec **une phase solide riche en MO et en phosphore, et une phase liquide riche en ammonium et potassium.** On effectue ainsi une première séparation des éléments nutritifs, ce qui permet une **gestion plus précise de la fertilisation des plantes** [Jensen, 2008 ; Palm, 2008]. C'est un nouvel avantage de cette séparation des phases, outre la concentration des éléments fertilisants et l'obtention de deux produits de textures connues.

1.2.2 Estimation des valeurs fertilisantes et amendantes d'un digestat

Il n'existe pas de caractérisation propre pour les digestats, mais les digestat étant des matières organiques, on se base sur la classification appliquée à ces dernières.

1.2.2.1 Le coefficient d'équivalence engrais

La valeur fertilisante se traduit par un coefficient (de 0 à 1) nommé « coefficient d'équivalence engrais » [Bodet, 2001]. Ce coefficient reflète la comparaison de la matière organique étudiée à un engrais minéral de référence ; comparaison qui porte sur la libération d'un élément fertilisant au cours de la première année suivant l'épandage. Autrement dit, plus le coefficient d'un engrais organique est fort, plus son comportement de minéralisation au sol se rapproche de celui de l'engrais minéral de référence. D'ailleurs, le coefficient est de 100% pour un engrais minéral. Attention, cela ne veut pas dire que l'engrais minéral est totalement utilisé la première année ; il est juste pris comme référence.

Les instituts techniques de l'élevage (Institut de l'Elevage, Institut Technique de l'Aviculture, l'Institut Technique des Céréales et des Fourrages et l'Institut Technique du Porc) ont établi en 2001 les coefficients équivalence engrais pour les principaux effluents d'élevage (Tableau 4).

Coefficient d'équivalence azote* (pour des apports occasionnels)	Céréales		Maïs...	Colza	Prairies	
	Aut.	Print.	Print.	été	Aut.	Print.
Fumier de bovins	0,15	-	0,30	0,20	0,10	0,05
Compost de fumiers de bovins	0,05	-	0,20		0,05	0,00
Fumier de porcs	0,20	-	0,30	0,30	0,40	0,40
Compost de fumier de porcs	0,05	-	020		0,20	0,20
Lisier de bovins	-	0,50	0,50	0,40	-	0,40 (0,50 si injecté ou déposé)
Lisier de porcs ou de volailles	-	0,60	0,60	0,50	-	0,50 (0,60 si injecté ou déposé)
Fumier - fientes de volailles	-	0,60	0,60	0,50	-	-

Coefficient d'équivalence* P_2O_5 et K_2O*	P2O5	K2O
Fumier bovins, porcs, ovins, caprins / Lisier de bovins, purins	1.00	1.00
Lisier de porcs et composts de lisier porcs	0.85	1.00
Lisier - fumier -fientes de volailles / Lisier de lapin	0.65	1.00

Tableau 4 : Coefficient d'équivalence engrais des engrais de ferme
(source : IE-ITAVI-ITP ; 2001. « Fertiliser avec les engrais de ferme »)

Dans le cas de l'azote, le coefficient dépend de plusieurs paramètres :

- Du type d'engrais : plus un effluent est riche en azote minéral, plus son coefficient d'équivalence est fort. C'est le cas des lisiers en général, et surtout ceux issus des élevages de volailles/canards.
- De la correspondance date d'apport/ stade cultural : plus l'apport est réalisé proche des besoins de la plante, meilleur est le coefficient. Par exemple, la croissance des céréales d'hiver se fait au printemps. Si l'on apporte un lisier de porc au printemps sur ces cultures, l'apport minéral sera à 60% celui d'un engrais azoté équivalent. Par contre, si l'on apporte cette même matière à l'automne avant semis, la fraction d'azote restituée à la culture au printemps, après des épisodes pluvieux hivernaux, est négligeable : le coefficient n'est même pas calculé dans le tableau.
- De la température et humidité du sol, qui favorisent la minéralisation de l'engrais en automne.

Pour le phosphore, le coefficient dépend surtout de l'origine de l'engrais de ferme : l'urée surtout présente dans les lisiers diminue le coefficient global. L'apport de potassium est quant à lui équivalent en terme de fertilisation quelque soit l'engrais (coefficient égal à 1).

On a vu que la digestion augmentait la proportion d'azote ammoniacal du mélange, rapidement minéralisable. En conséquence, la digestion augmente aussi le coefficient d'équivalence engrais des effluents. Au Danemark, sur culture d'orge, l'efficacité de l'azote

est de l'ordre de 65% pour du lisier digéré contre 50% pour le brut [Solagro, 2004]. Les effets sont aussi positifs sur prairie, maïs ou betteraves. Toutefois, ces différences s'estompent sur du blé d'hiver : l'influence de la digestion n'est plus significative.

La valeur fertilisante azotée finale du digestat sera effectivement supérieure si les pertes d'azote sont limitées entre la sortie du digesteur et le champ. Cela nécessite notamment une nouvelle conduite des chantiers d'épandage (cf. partie IV). Pour le phosphore et le potassium, la question est moins tranchée. L'absorption de ces éléments se fait sous forme ionique (PO_4^{3-} et K^+) dans la solution du sol. Ces éléments étant en grande partie liés aux particules du sol, la capacité d'absorption dépendra des équilibres chimiques entre les compartiments du sol et du volume de sol exploré par les racines. La croissance racinaire est liée à la croissance de la plante entière, donc aussi à la fourniture d'azote par l'engrais apporté. Une meilleure valeur fertilisante en azote permettrait donc aussi une meilleure assimilation du phosphore et du potassium. Mais cela reste à être vérifié sur le terrain. Quoi qu'il en soit, le coefficient réel d'utilisation du phosphate reste faible, même pour un engrais minéral de référence (11-12% absorbé directement par la plante pour du phosphate minéral monocalcique).

1.2.2.2 Valeur amendante d'une matière organique

La valeur amendante se définit comme la capacité à entretenir la structure (organisation des agrégats) et la fertilité du sol. Cette valeur est étroitement associée à la quantité d'humus qu'apporte la matière ; l'humus étant la fraction stabilisée de la matière organique apportée qui ne va pas ou peu être minéralisée au cours du temps. En effet, la formation de complexes argilo-humiques apporte de la résistance à la dégradation des sols. Trois paramètres caractérisent la valeur humique des amendements organiques : le coefficient isohumique (K1, déterminé expérimentalement, défini par Hénin et Dupuis en 1945), le rendement humus et l'indice de stabilité biologique (ISB). La plupart des molécules à l'origine des composés humiques est issue de la dégradation biologique de la lignine (et de la cellulose). Donc, plus la matière contient de lignine, plus son potentiel humique est important. Selon les documents transmis par la CA de l'Aude, les fumiers de ferme ont un indice de stabilité biologique compris entre 30 et 50%. Les lisiers (pailleux) un indice d'environ 15%, ce qui signifie que 15% de la MO apportée sera transformée en humus stable dans le sol.

Nous avons vu que la digestion était neutre vis-à-vis de la lignine. Par contre, le taux de matière sèche global est réduit car les fractions facilement dégradables d'un déchet sont transformées en biogaz. En conséquence, la proportion de lignine donc le potentiel d'humification est théoriquement augmenté par rapport à l'effluent initial.

Dans le sol, on attend donc une moindre augmentation de l'activité biologique, puisque la MO a déjà été digérée : on apporte une fraction minéralisée et une fraction non accessible aux micro-organismes. Puisqu'il n'y a pas (moins) de chaînes carbonées à métaboliser, on peut aussi penser que la compétition entre culture et biomasse bactérienne pour l'utilisation de l'azote va être réduite. Ainsi, la proportion d'azote minéral immobilisé par la biomasse diminue ; ce qui augmente d'autant la valeur fertilisante des digestats.

En conclusion, **il semblerait que la digestion soit doublement bénéfique au niveau agronomique :**

- elle augmente la valeur fertilisante d'un effluent organique, du moins pour l'azote [Adani, 2009], si l'on en maîtrise le stockage et l'épandage.
- elle augmente la valeur amendante de l'effluent, pour peu qu'il possède une fraction ligneuse.

La valorisation énergétique des effluents ne vient donc pas en contradiction avec leur valorisation agronomique comme c'est parfois déclamé, mais en réel complément.

1.2.3 Application au projet de Puylaurens

Les agriculteurs susceptibles d'utiliser le digestat souhaitent avoir des données chiffrées sur sa valeur agronomique. Il faut donc comparer ces digestats aux MO actuellement utilisées : engrais de ferme principalement, composts divers ensuite. Pour les éleveurs apportant leurs effluents aux méthaniseurs, cela leur permet aussi de quantifier ce qu'ils gagnent/perdent en matière de potentiel fertilisant et humique dans l'opération !

L'estimation de la composition du digestat a principalement été faite pour le projet de Puylaurens, plus avancé : nous travaillerons sur ces données. Soulignons dès à présent que les résultats fournis ne sont que temporaires et d'ailleurs sûrement déjà dépassés car le projet avance ; la composition du bouquet d'affluent avec lui.

1.2.3.1 Résultats de simulation Solagro

Solagro dispose d'un programme de simulation de digestion : après avoir renseigné les effluents et leurs quantités, on obtient la composition estimée du digestat. La séparation de phases que l'on considère ici conduit à l'obtention d'une phase solide à 30% de MS. Les dernières simulations (Tableau 5) datent de début juin 2009 :

	Digestat brut	Digestat liquide	Digestat solide
MS (% MB)	12%	5%	30%
MO (%MB)	9%	4%	**23%**
Norg (kg/tMB)	2,4	1,1	6,1
NH4 (kg/tMB)	7,4	8,0	5,9
Ntot (kg/tMB)	9,8	9,1	12,0
P (kg/tMB)	2,8	1,1	7,6
K (kg/tMB)	5,3	5,7	4,2

Tableau 5 : Composition estimée du digestat de méthanisation du projet de Puylaurens (source : Solagro)

Le DL se caractérise par une forte teneur en azote ammoniacal, 8 kg/t de MB, soit 88% de l'azote total de la fraction liquide. Cette teneur reste quand même bien en deçà de celle des engrais minéraux : l'ammonitrate contient 335 kg d'azote (½ ammoniacal, ½ nitrique) par tonne de MB. Il n'en reste pas moins un fertilisant azoté et potassique, qu'il faudra manipuler comme son homologue minéral.

Le DS se caractérise par une forte teneur en MO non dégradée, 23%, soit 6 kg d'azote organique/tonne de MB. Sa teneur en azote minéralisé n'est pas non plus négligeable : 6 kg/tonne de MB. Cette fraction concentre aussi le phosphore, avec environ 8 kg/t MB. On n'a donc ni un fertilisant pur, ni un amendement seul mais un **produit « double effet »**. On pourrait schématiser son évolution dans le sol comme suit (Figure 4) :

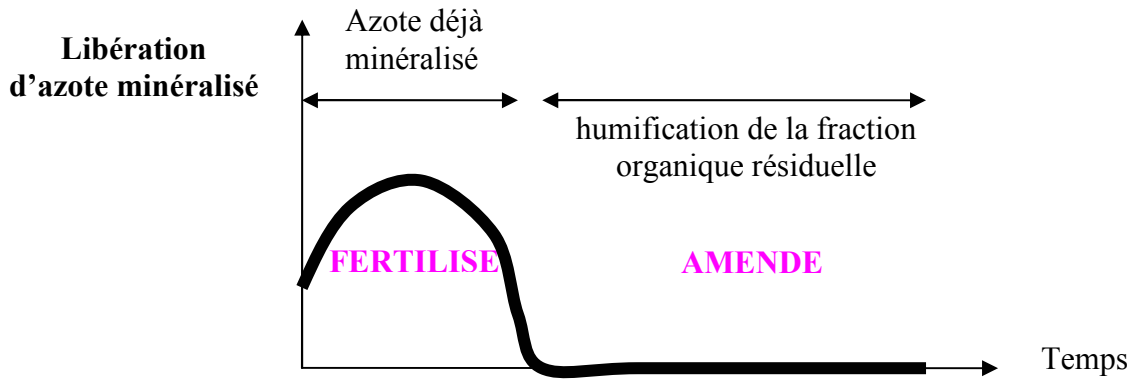


Figure 4 : Schématisation de la libération d'azote à partir du digestat solide (source : M Etchart)

Pour tracer cette figure, on suppose que la digestion a été suffisamment poussée pour transformer toutes les fractions facilement dégradables en biogaz, de sorte que la fraction organique qui reste ait un effet amendent exclusif. Autrement dit, $ISB_{digestats} \approx$ 100 %, soit **Potentiel humique** $_{\text{digestat solide}} \approx$ **23% et Potentiel humique** $_{\text{digestat liquide}} \approx$ **4%**. Cela devra être vérifié expérimentalement.

1.2.3.2 Caractérisation des effluents agricoles apportés

Tout comme pour les coefficients d'équivalence engrais, les instituts techniques apportent les compositions moyennes des effluents d'élevage en NPK (Tableau 6). Les composts présentés sont ceux commercialisés par Arterris : un compost de déchets verts normé NFU44-051 et un compost de boues de STEP normé NFU 44-095 (de Roquefeuil et al., 2009). Un contact avec la chambre d'agriculture de l'Aude a permis de rajouter des données concernant la teneur en MO de ces mêmes engrais de ferme :

Kg/t MB ou %	**MS**	**MO**	**Cœff. ISB**	***Potentiel humique*** (4)	**Ntot**	**Nmin** (1)	**P**	**K**
Fumier ovin	30%	23%	30-50%	*8-13%*	10.8	3.5	6.3	17.6
Fumier bovin	9-25%	13-18%	30-50%	*4-9%*	5.5	1.5	2.6	7.2
Fientes volailles	30-50%	26-40%	10-15%	*3-6%*	26	15.5	24	19
Lisier porc	6-10%	4-7%	10-15%	*0-1%*	5	3	4	3
Compost DV	-	35%	60-70% (2)	*21-25%*	1.5	~0 (3)	6	9
Compost boues	-	35%	69% (3)	*24%*	4.5	~0 (3)	15	8

(1) apport au printemps sur culture d'été dans cet exemple.
(2) source : Bodet et al., 2001
(3) source : Houot et al, dossier de l'Inra n°25
(4) Le potentiel humique a été déduit du taux de MO et de l'indice de stabilité biologique de chaque effluent.

Tableau 6 : Composition moyenne en MS, MO, N, P, K des effluents de ferme (source : M Etchart, diverses données)

Par ailleurs, la cinétique de minéralisation de l'azote organique (Figure 5) contenu dans ces effluents a été étudiée dans le cadre d'un mémoire de fin d'étude au sein d'Arvalis - Institut du végétal et l'ESA Angers [Paumard, 2008].

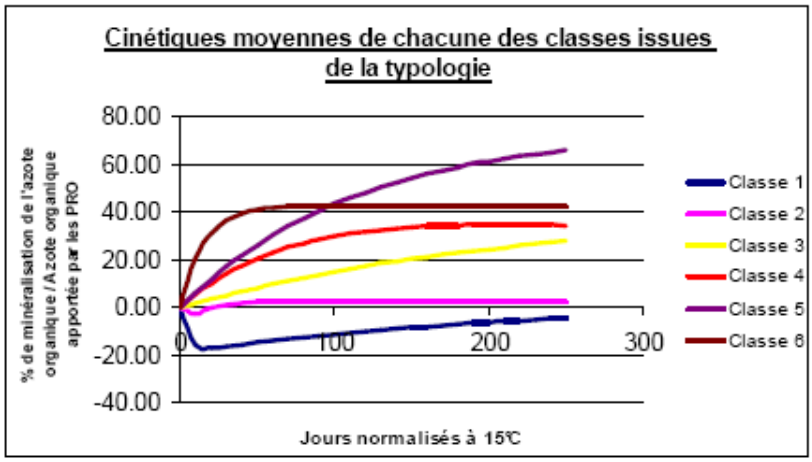


Figure 5 : Minéralisation moyenne de l'azote organique des matières organiques (source : Paumard, 2008)

Les Classe 1 et 2 comprennent entre autres les fumiers bovins et ovins, les composts de déchets verts, de boues de STEP. Pour ces effluents, on observe une organisation plus ou moins marquée de la MO, donc un risque d'immobilisation initiale de l'azote minéral de la solution du sol. Ensuite, la vitesse de minéralisation de l'azote organique est quasi-nulle, équivalente à celle de l'humus déjà présent dans le sol. En fait, ces effluents n'apportent pas d'azote minéral au sol la première année. La classe 4 comprend les fientes de volaille : l'azote organique y est rapidement minéralisé les 50 premiers jours normalisés après l'épandage. Au bilan, 30 à 40% de l'azote organique est minéralisé la première année après épandage.

Il existe donc une grande variabilité de cinétiques de minéralisation des effluents de ferme et composts ; ce qui rend leur gestion assez délicate. Le raisonnement de fertilisation avec des engrais de ferme doit idéalement se faire au cas pas cas.

1.2.3.3 Comparaison agronomique pré/post digestion

Au niveau de la valeur amendante, le DS présente un potentiel humique supérieur à tous les engrais de ferme, sous réserve de validation des hypothèses nécessaires à son calcul. On passe par exemple de 4-9% à environ 23% pour un producteur de fumier bovin qui souhaite utiliser du DS (Tableau 6). Ce dernier est par ailleurs équivalent à un compost, qu'il soit de boues de STEP ou de déchets verts. Le DL a un faible potentiel humique (~4%), équivalent ou inférieur à celui d'un fumier de bovin.

Au niveau de la valeur fertilisante,

- les fientes de volailles sont plus riches que les digestats en azote minéral, phosphore et potassium
- les digestats (même le solide !) sont plus concentrés en azote minéral que les fumiers et lisiers de ferme
- le DS contient le maximum de phosphore, le DS le minimum
- les digestats contiennent moins de potassium que les fumiers ; plus que du lisier de porc
- les digestats sont toujours plus riches en azote minéral que les composts, puisqu'on estime que ces derniers ont été dénitrifiés lors du processus de la phase de maturation aérobie du compostage. Cela est d'autant plus vrai que la durée de maturation des composts est longue.
- les teneurs en PK du DS et d'un compost de déchets verts sont équivalentes
- les teneurs en PK d'un compost de boue sont supérieures à celles des digestats.

Comparé aux engrais de ferme (excepté les fientes de volaille), le DS est plus riche en NP et moins riche en K ; le DL est plus riche en N et moins riche en PK.
Comparé aux composts, le DS est plus riche en N, équivalent ou moins riche en PK ; le DL est plus riche en N mais moins riche en PK.

Le principal avantage du DS est donc sa valeur amendante doublée d'une valeur fertilisante azotée, ce que n'ont plus les composts. On assimile d'ailleurs un DS à un compost « frais », c'est-à-dire qui n'a pas subi une phase de maturation.

Le principal avantage du DL est sa forte valeur fertilisante azotée couplée à une faible teneur en phosphore. Cette séparation des deux éléments est un atout sur les territoires en excédent azoté et qui vont sûrement être prochainement soumis à une réglementation sur le phosphore ; c'est typiquement le cas de la Bretagne [Dutry, 2008].

Par ailleurs, la digestion permet d'uniformiser les cinétiques de minéralisation des effluents. On passe de x cinétiques à une cinétique double : libération rapide d'azote ammoniacal puis stabilité de la MO humifiée. C'est une simplification de raisonnement de fertilisation : les digestats sont des produits à apporter au plus près des besoins de la plante. Mais cela nécessite une attention accrue car, on l'a vu, la forme ammoniacale est volatile. Des mesures de stockage (couverture des aires) et d'épandage (adaptation du matériel) sont à prévoir.

Sur notre territoire d'étude, chaque agriculteur pourra à partir de ces comparaisons évaluer la pertinence d'utilisation de ce digestat. Aux éleveurs, on recommande tout de même de faire analyser leur effluent pour avoir des bases de comparaisons plus adaptées que les références nationales.

2. Statut réglementaire du digestat

2.1 Le digestat est un déchet

La loi n°75-633 du 15 juillet 1975 définit un déchet comme « *tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit […] que son détenteur destine à l'abandon* ». Depuis, le décret n° 2002-540 du 18 avril 2002 relatif à la classification des déchets précise ce statut : « *Déchet provenant du traitement anaérobie des déchets* ». C'est la dernière précision en date donc à ce jour, le digestat reste un déchet. Or, la loi de 1975 établit que « *toute personne qui produit ou détient des déchets […] est tenue d'en assurer ou d'en faire assurer l'élimination […]. L'élimination des déchets comporte les opérations de collecte, transport, stockage, tri et traitement nécessaires à la récupération des éléments et matériaux réutilisables ou de l'énergie, ainsi qu'au dépôt ou au rejet dans le milieu naturel de tous autres produits dans des conditions propres à éviter les nuisances […]* ». Le détenteur des déchets, dans notre cas la société Valterris, est responsable de ces déchets jusqu'à leur élimination.

Même si le digestat est pour nous plus un coproduit valorisable qu'un déchet de processus, sa gestion devra suivre les filières réservées aux déchets : épandage, traitement en station d'épuration, incinération ou stockage en Centre d'Enfouissement Technique. Toutefois, il est possible de quitter le statut de déchet pour obtenir celui de produit, via une démarche d'homologation ou de normalisation. Cela permet de se décharger de la responsabilité sur l'utilisateur du produit. De plus, commercialement parlant, il est plus profitable de vendre un « déchet » qu'un « produit » ; nous y reviendrons.

2.2 Diverse possibilités de gérer un digestat

2.2.1 En conservant le statut de déchet

2.2.1.1 Voies d'élimination non agricoles

Nous abordons ici l'incinération, les traitements de réduction de DCO du digestat et le stockage en CET. Nous les regroupons car, comme précisé dans les hypothèses de départ, ces options sont *a priori* exclues du schéma de méthanisation. Qui plus est, le digestat n'est pas un déchet ultime (ne pouvant être valorisé d'aucune autre façon). Dans ce cas, son stockage en CET n'est possible que si la teneur en MS du déchet dépasse 30% ; ce qui n'est pas le cas du digestat brut. De même, l'incinération d'un déchet, selon la Directive du 4 décembre 2000, requiert un taux de matière sèche supérieur à celui du digestat brut pour assurer une combustion adéquate. Reste donc la possibilité de traiter le digestat. Il faut alors satisfaire les normes de rejets dans l'environnement établies par l'Arrêté du 2 février 1998 relatif aux émissions des ICPE, y compris les méthaniseurs.

2.2.1.2 Epandage agricole

Une alternative à la destruction d'un déchet organique est son épandage sur des parcelles agricoles ; c'est la plus courante aujourd'hui. Réglementairement (décret du 8 décembre 1997), l'épandage d'une matière organique n'est possible que si preuve est faite qu'il est bénéfique pour les sols et la nutrition des plantes ; ce qui semble acquis pour le digestat au vu du la partie II.1 et des projets déjà lancés en France.

L'épandage doit parfois être encadré par un plan d'épandage, document qui décrit le digestat mais aussi les lieux, dates, doses, etc. d'épandage. C'est le cas si l'exploitation au sein de laquelle on souhaite épandre est classée en ICPE et/ou si elle se trouve en « zone vulnérable ». Le plan d'épandage doit respecter la Directive Européenne 91/676/CEE ou « Directive Nitrates », détaillée en Annexe 9. Cela se traduit notamment par une dose maximale d'apport de digestat (170 kg d'azote organique par hectare de surface épandable) et un calendrier restreignant les périodes d'apport autorisées. Si l'épandage est retenu, notre schéma de gestion du digestat devra prendre ces contraintes en compte.

2.2.2 La transformation du déchet en un produit

Deux options s'offrent pour cela, une homologation/autorisation provisoire de vente ou une normalisation. Une demande d'homologation est une démarche complexe, qui n'aboutit que dans 10% des cas [présentation Apesa]. De plus, elle ne correspond pas à l'ampleur de notre projet ; le rapport coût/bénéfice est trop important. Une normalisation du digestat suppose que ce dernier satisfasse les exigences de normes existantes, établies par l'Association Française de Normalisation. On en dénombre deux pour les amendements organiques : la norme NF U 44-051 qui règlemente les amendements organiques en général et la norme NF U 44-095 qui règlemente les composts contenant des matières agronomiques issues du traitement des eaux (boues de STEP).

Dans les deux cas, il faut que le digestat subisse un compostage « caractérisé » pour être normé. Suivant la norme NF U 44-051, cela consiste en un ajout de matières végétales puis un « *processus de décomposition et transformation contrôlées de produits organiques sous l'action de populations microbiennes évoluant en milieu aérobie* ». On voit donc que l'action bactérienne lors de la digestion ne rentre pas dans cette définition et donc ne suffit pas à la normalisation. De plus, cela ne concerne que le DS ; on ne peut composter un liquide ! Outre le compostage, la norme introduit des critères d'innocuité, des critères microbiologiques et des objectifs amendants (% MO, MS) et fertilisants (% N, P, K) à atteindre. Pour notre projet, tout cela nécessite une mise en place d'infrastructures de

compostage voire de traitement du digestat. On pourrait aussi s'appuyer sur les structures de compostage déjà en activité sur le territoire, répertoriées dans l'Annexe 10.

2.2.3 Avantage/inconvénient de la normalisation

Le passage à une logique « Produit » donne une valeur ajoutée au digestat et sécurise le possesseur puisqu'il transfère sa responsabilité lors de la vente. D'autre part, la normalisation encadre la qualité des produits obtenus. Pour ces raisons, Arterris ne travaille (achat/vente) pour l'instant qu'avec des amendements normalisés NFU 44-051 ou -095. Toutefois, tout cela a un coût car il s'agit ici de *notre* digestat, donc d'une normalisation que nous devons assumer nous-mêmes.

Concernant l'épandage de compost de digestat, la règlementation n'est pas claire et varie d'un département à l'autre en fonction du Règlement Sanitaire Départemental et des arrêtés préfectoraux en vigueur. Pour les composts de digestats issus de boues, le plan d'épandage reste nécessaire mais pour les composts normalisés NFU 44-051, il est possible que le plan d'épandage ne soit plus nécessaire ; ce qui octroie ses contraintes spatio-temporelles. Toutefois, signalons que les « contraintes » en lien avec la Directive Nitrates sont issues de considérations agronomiques et ne devraient normalement pas être gênantes!

Au niveau agronomique, le compostage se déroule à l'air libre ; ce qui augmente le risque de réduire la valeur fertilisante des digestats par volatilisation de l'azote ammoniacal. Par ailleurs, l'hygiénisation de la matière organique, avantage principal du compostage, est déjà acquise suite à la digestion [Solagro, 2004]. **Il n'y aurait donc pas intérêt à composter un digestat du point de vue agronomique**, si ce n'est pour humifier la fraction peu biodégradable du digestat avant de l'incorporer dans le sol, où ce processus opère encore.

Quoi qu'il en soit, une normalisation ne concernerait que le digestat solide.

2.3 Perspectives d'évolution de ce statut

Selon Solagro [Solagro, 2004], le processus de méthanisation est équivalent à la phase thermophile de compostage, à quelques différences près :

- la méthanisation dégage de l'énergie sous forme de biogaz alors que le compostage la dégage sous forme de chaleur (augmentation de température)
- le processus de digestion (milieu clos) conserve l'azote ; pas le compostage (émissions atmosphériques de nitrates, nitrites, diazote voire protoxyde d'azote). Cette différence est moins nette si l'on considère l'ensemble de la filière (incluant stockage, épandage)
- la stabilisation de la matière (humification aérobie) est permise par le compostage mais pas par la digestion (processus anaérobie).

Pour le reste (hygiénisation), les effets des deux procédés sont comparables, surtout si la digestion thermophile est appliquée.

Il n'y aurait donc pas de raison que les normes imposent un compostage après la digestion, comme c'est le cas actuellement. Il suffirait de préconiser une maturation aérobie et de contrôler la qualité du compost obtenu. Il s'agirait donc d'imposer une obligation de résultats en lieu et place d'une obligation de moyens. Postérieurement aux conclusions de Solagro, en avril 2006, la norme NFU 44-051 a été réactualisée. Cependant, aucune modification de statut n'a été apportée au digestat : il doit toujours être composté avant d'acquérir le statut de produit. Dans l'avenir, une reconsidération de la filière de méthanisation dans son ensemble entraînera peut-être une évolution du statut des digestats solide et liquide.

Partie III : Estimation de la demande en fertilisants et amendements des territoires

En préambule, décrivons brièvement les territoires d'étude. Les deux villes sont localisées à moins de 50 km l'une de l'autre, mais appartiennent à deux régions « Arterris » différentes : Puylaurens appartient à la région Tarn alors que Castelnaudary est à la frontière des régions Lauragais et Razès. On aura donc affaire à des techniciens de terrain différents. Les paysages sont similaires car on se trouve en bordure Est du Lauragais, plaine céréalière majeure du sud de la France. On note un paysage vallonné (zones de coteaux/plaine, Figure 6) et un climat de transition, où les influences océaniques et méditerranéennes se font sentir.

Figure 6 : Paysages type du territoire étudié (source : M Etchart)

L'observation des paysages confirme que l'activité grandes cultures prédomine par rapport à l'élevage, surtout dans la zone de Castelnaudary.

1. Diagnostic de la demande en fertilisant

Pour savoir si l'écoulement du digestat posera problème ou non, nous cherchons tout d'abord à caractériser quantitativement son marché potentiel, celui des fertilisants en grande culture.

1.1 Méthodologie de recueil de données

1.1.1 D'une méthodologie à l'autre

La première idée consistait à recueillir ces données en interne, à partir des ventes de fertilisants effectuées sur l'ensemble des dépôts Arterris. Je disposais d'une base de donnée indiquant les types (engrais NPK « 0-18-18 » ou « UREE 46% GRANULEE VRAC ») et quantités d'engrais achetés par adhérent en 2007. Il suffisait alors d'additionner les achats sur les communes autour de Castelnaudary et Puylaurens pour boucler l'estimation. Toutefois, cette méthode présente de nombreux biais qui m'ont conduite à l'abandonner. Tout d'abord, un agriculteur n'achète pas exactement la quantité qu'il va épandre à l'année N ; il peut vouloir profiter d'une promotion et stocker de l'engrais. Ensuite, les adhérents ont des terres sur plusieurs communes mais ne sont répertoriés que sur la commune de leur exploitation. Enfin, bien que le principe d'exclusivisme définisse une coopérative, les achats des adhérents ne se font plus exclusivement chez Arterris ! Ce paramètre est difficile à quantifier, mais il est avéré. Enfin, cette approche ne concerne pas l'ensemble des agriculteurs, vu qu'Arterris n'est pas la seule coopérative en place (cf. Annexe 11).

Nous optons donc pour une deuxième méthode plus indirecte (Figure 7), par étapes :

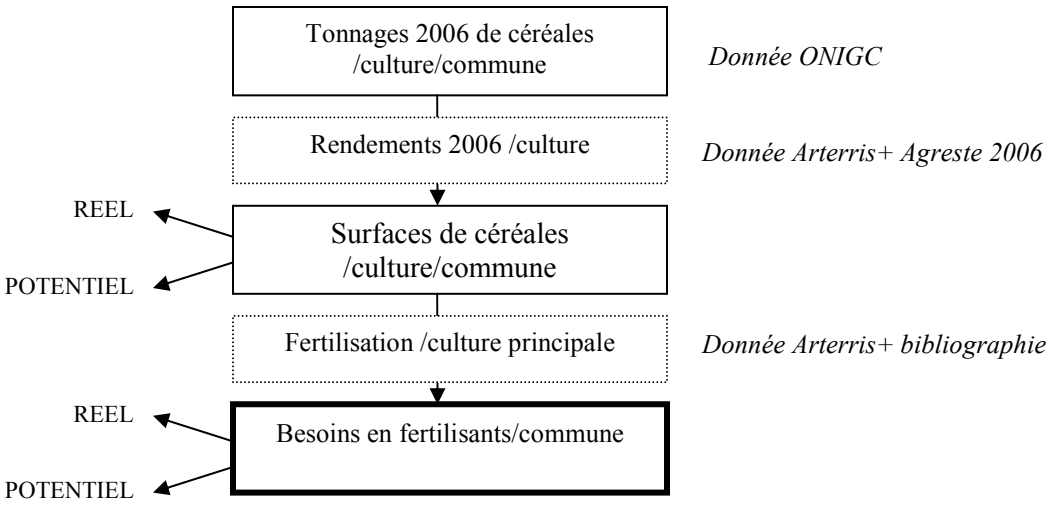


Figure 7 : Méthode de calcul des besoins en fertilisants (source : M Etchart)

L'organisme interprofessionnel des grandes cultures (ONIGC) dispose des tonnages récoltés par commune et par coopérative car cet établissement public prélève une taxe sur les récoltes. Arterris dispose des données 2006, une année qualifiée de moyenne sur laquelle on peut se baser.

1.1.2 Choix des premiers paramètres et hypothèses simplificatrices

Les rendements définis sont recueillis au service Collecte d'Arterris et croisés avec les rendements régionaux de la base de données Agreste. On obtient, en quintaux/ha : 51 pour le blé dur, 56 pour le blé tendre, 97 pour le maïs grain, 21 pour le tournesol, 32 pour le colza, 60 pour l'orge, 39 pour l'avoine et 36 pour le pois.

A l'issue du calcul des surfaces, nous choisissons de ne travailler que sur les cinq cultures majoritaires pour chaque territoire : Blé dur, Tournesol, Blé tendre, Colza et Maïs. Cela reste cohérent car on couvre ainsi plus de 80% des surfaces cultivées.

Par ailleurs, il convient de distinguer les surfaces « réelles », c'est-à-dire collectées par Arterris, des surfaces « potentielles », c'est-à-dire l'ensemble de la collecte sur le territoire. Cela suppose que la fidélité, donnée par l'ONIGC par commune (cf. Annexe 11) soit la même quelle que soit la culture et que les rendements soient uniformes.

Ces calculs sont menés sous ArcGis ; ce qui permet de cartographier si nécessaire les résultats. ArcGis est aussi un outil qui facilite la manipulation des tables et fournit des bilans multicritères (ex : bilan des surfaces par commune et par céréale). N'ayant aucun ordre d'idée du résultat, ces calculs intégraient au départ les communes comprises dans un périmètre de 30 km autour de chaque centre, puis ont été réajustés à la baisse pour retenir la zonation suivante (Figure 8) :

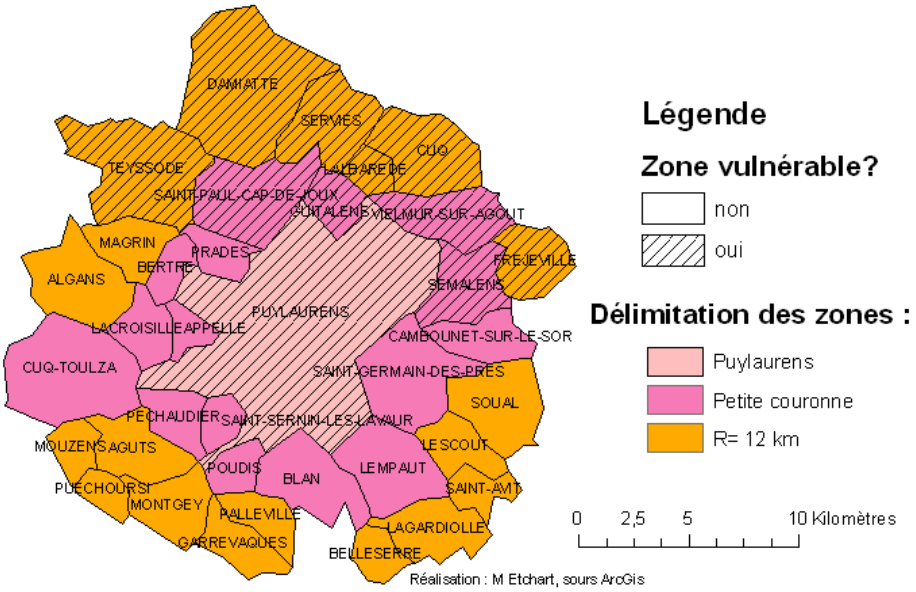


Figure 8 : Délimitation des zones de calcul, exemple de Puylaurens (source : M Etchart)

A noter que les surfaces se cumulent : « R=12 km » comprend l'ensemble des communes représentées dans cette figure.

1.1.3 Pratiques de fertilisation : distinction N/ PK nécessaire

On se fixe au départ comme objectif de définir l'itinéraire de fertilisation agronomiquement idéal pour la culture, et non pas directement l'itinéraire pratiqué sur le territoire ; l'un et l'autre pouvant être similaires.

La fertilisation azotée se raisonne par année alors que la fertilisation PK se raisonne sur plusieurs années. En effet, l'utilisation réelle d'un engrais P ou K au cours de l'année d'apport est très faible : moins de 20% pour P, moins de 30% pour K [Llorens, 2001]. La fertilisation résulte de la migration vers la solution du sol de P ou K au préalable insolubles (inclus dans les complexes argilo-humiques, liés à la MO, précipités). Au contraire, l'engrais minéral azoté apporté l'année N suffit à répondre aux besoins de la plante.

Il en résulte que le pilotage de la fertilisation azotée est plus facile et plus documenté. Toutes les Chambres d'Agriculture proposent des guides de calcul des besoins, qui intègrent notamment les reliquats apportés par les précédents culturaux, les apports organiques supplémentaires et les objectifs de rendement : c'est la méthode « du bilan » [CRA Midi-Pyrénées, 2003]. Selon une enquête Agreste 2006 et l'avis des techniciens de terrain, cette méthode est bien assimilée et utilisée par les agriculteurs. Au sein d'Arterris, un partenariat a été développé avec In vivo pour estimer les reliquats azotés en sortie d'hiver sur des parcelles type. Ces résultats sont à la disposition des adhérents Arterris.

Il existe aussi des références pour le calcul de la fertilisation PK [Llorens, 2003]. Ce dernier est basé sur les teneurs du sol en PK (donc sur des analyses de sol), sur la fréquence des apports (ce qui sous-entend bien que les apports ne sont pas toujours annuels) et sur l'exigence des cultures par rapport à chaque élément ; nous y reviendrons. Toutefois, cette méthode est peu répandue ; les agriculteurs - ils le disent eux-mêmes - ajustent bien d'avantage leurs apports au prix des engrais et à leur budget. Par exemple, une impasse généralisée en phosphore a caractérisé la campagne 2008-2009.

En conséquence, on décide que les pratiques actuelles de fertilisation azotée correspondent à l'optimum agronomique : on estimera les besoins en N à partir de leur recueil. Par contre, la méthode Comifer devra être réutilisée pour P et K.

1.2 Premiers résultats

1.2.1 Besoins en azote minéral

L'itinéraire de fertilisation est défini par recueil de témoignages d'experts sur les deux territoires. Suite à cela, nous avons défini un schéma de fertilisation azotée valable pour tout le territoire (cf. Annexe 12). Il permet d'estimer les besoins globaux en azote minéral.

Selon les premières estimations (cf. Tableau 9 de l'Annexe 13), les besoins en azote sont globalement plus importants dans la zone de Castelnaudary du fait de surfaces céréalières supérieures. Les assolements sont différents (cf. Annexe 14) : dans la zone de Castelnaudary, il y a prédominance du couple blé dur/tournesol. Dans l'Aude, un tiers des parcelles sont même en monoculture de Blé dur. Cela s'explique par les primes PAC de soutien à cette culture et par l'adaptation du Blé dur aux « boulbènes » de ce secteur (sols limoneux-sableux, peu argileux et drainants). Dans la zone de Puylaurens, les rotations sont plus diversifiées, avec apparition du blé tendre et de maïs irrigué. Les sols que l'on y rencontre (« terreforts », sols argilo-calcaires) sont moins adaptés à la culture de blé dur ; on retrouve plus de mycotoxines du blé. Par ailleurs, les différences réel/potentiel sont plus grandes dans la zone Puylaurens car l'implantation d'Arterris y est moindre.

1.2.2 Détermination des besoins en P et K

Nous suivons la méthode de référence fournie par le Comifer. Le besoin s'exprime ainsi :

*Besoin P (ou K) = Exportation de la culture (kg /ha) * coefficient*
où coefficient = f(exigence culture, état des sols, passé de fertilisation)

Des tables de références fournissent les exportations de chaque culture en kg d'élément/quintal. Chacun applique ensuite ses objectifs de rendements ; nous les avons précédemment donnés.

1.2.2.1 L'exigence des cultures

Par définition, une culture exigeante en K affiche des baisses de rendement si l'on fait l'impasse sur K. Il faudra donc soigner sa fertilisation potassique. Ce paramètre est lié à un ensemble de caractéristiques physiologiques, dont principalement l'importance ou l'agressivité du système racinaire (qui conditionne l'absorption des nutriments). Il semblerait que les cultures exigeantes aient besoin d'un apport extérieur pour impulser la croissance racinaire.

Une culture a une exigence faible, moyenne ou forte (Tableau 7) : d'une manière générale, les céréales sont peu exigeantes alors que les cultures de « tubercules » (pomme de terre, betterave, oignon) accusent de fortes chutes de rendement en l'absence prolongée de fertilisation [Llorens, 2003].

Culture	Exigence P	Exigence K
Blé dur	Moyen	Faible
Blé tendre	Faible	Faible
Tournesol	Faible	Moyen
Maïs	Faible	Moyen
Colza	Forte	Moyen

Tableau 7 : Exigence des cultures en PK (source : Comifer)

1.2.2.2 Quel état de fertilisation des sols ?

Ce paramètre est un indicateur de la quantité de nutriments extractible par les racines dans la solution du sol. L'interprétation des analyses de sol amène à la définition de teneurs seuils qui vont conditionner la stratégie de fertilisation :

- Une teneur *impasse* au dessus de laquelle les quantités présentes dans le sol permettent de suspendre la fertilisation pour les cultures peu et moyennement exigeantes
- Une teneur *renforcement* au dessous de laquelle il est nécessaire d'apporter les éléments fertilisants à des doses supérieures aux exportations prévues

Entre les deux seuils, on préconise une fertilisation *d'entretien*, à la hauteur des exportations.

En interrogeant les référents en matière d'état de fertilisation des sols, j'ai rencontré deux avis contradictoires. Mr Castillon, spécialiste de la fertilisation au sein d'Arvalis - Institut du végétal affirmait que les sols dépassaient la teneur impasse pour P et K dans la région suite à des apports massifs dans les années 1970-1980. Au sein de la coopérative, on incite plutôt les agriculteurs à appliquer une fertilisation d'entretien, ce qui indique des teneurs intermédiaires. Il nous a semblé intéressant de consulter et d'interpréter les analyses de sol effectuées dans la région (cf. Annexe 15). On en déduit que les sols ont une teneur impasse pour le potassium et une teneur renforcement basse pour le phosphore. Ces résultats n'ont pas surpris les agriculteurs rencontrés par la suite.

1.2.2.3 Autres paramètres

Le devenir des résidus de culture (pailles et feuilles) des précédents culturaux est pris en compte ; ils sont soit enfouis, soit exportés. Dans une culture, seulement 30% du potassium est exporté dans les grains contre 80% du phosphore. Le stock dans les résidus est donc important pour le potassium ; ce paramètre est négligé pour le phosphore.

On regarde aussi le passé récent de fertilisation pour mesurer l'évolution de l'état chimique des éléments minéraux apportés vers des formes moins assimilables. Un indicateur simple de cette évolution est le nombre d'année sans apport : plus l'apport est ancien, plus il faudra majorer la dose. Vu la diversité des pratiques sur le territoire, nous ne tranchons pas sur ce point et proposerons des besoins fonctions de la date du dernier apport.

1.2.2.4 Résultats

Les besoins par culture et par hectare sont détaillés dans le Tableau 11 de l'Annexe 13. On retrouve que plus les apports sont espacés, plus la dose augmente. En intégrant ces résultats aux surfaces disponibles, on obtient les besoins par secteur, par périmètre et par fréquence d'apport (cf. Tableau 12 de l'Annexe 13). A noter que lorsque l'apport est réalisé tous les deux ans, les surfaces disponibles sont divisées par deux, ce qui réduit la demande.

1.3 Ajustement des résultats à notre territoire

Ne perdons pas de vue que même si les besoins en éléments sont énormes, nous allons les apporter sous forme de digestat ; ce qui oblige à corriger les résultats obtenus.

1.3.1 Prise en compte de la réglementation Nitrates pour une matière organique

La Directive Nitrates (Annexe 9) limite l'utilisation de fertilisants organiques issus des élevages à 170 kg/ha de SPE ; la SPE étant la Surface Potentiellement Epandable, c'est-à-dire la Surface Agricole Utile diminuée des zones de bords de cours d'eau, zones proches des

riverains et autres terrains non épandables (précisés par la Directive). Le digestat est en partie issu d'effluents organiques et n'est pas soumis à une législation spéciale : il faudra le compter dans les 170 kg. Au passage, rappelons que cette limitation ne s'applique pas aux engrais de type III, c'est-à-dire les engrais minéraux…

Certaines communes du territoire d'étude sont soumises à cette législation : on limitera leurs besoins en azote à 170 kg/ha pour le blé dur, maïs grain ; les autres besoins restent inchangés. Par ailleurs, la Directive ne concerne pas le potassium et le phosphore, donc pas d'ajustement à réaliser de ce côté-là.

1.3.2 Surestimation du besoin pour la zone d'élevage du Tarn ?

Le territoire de Puylaurens se trouve donc à la limite entre une zone à dominante céréalière (Lauragais) et une zone mixte céréales-élevage (Tarn).
Dans la zone « Petite Couronne » du secteur de Puylaurens, nous avons réussi à caractériser environ 50 % des élevages : on dénombre alors 69 élevages (Tableau 8) donc un pool d'engrais de ferme disponibles.

	Bovins		Ovins		Porcs	Volailles	
	LAIT	VIANDE	LAIT	VIANDE			*total*
Nombre exploitations	16	36	1	11	4	1	***69***
Total effectif (têtes)	659	818	250	4430	1188	25000	
Effectif moyen /exploit	**41**	**23**	**250**	**403**	**297**	**25000**	

Tableau 8 : Elevages et effectifs recensés dans le secteur de Puylaurens (source : Valorem)

La taille des éleveurs bovins et ovins montrent bien qu'on est en région de polyculture-élevage : un élevage de 23 vaches en moyenne ne peut assurer seul le revenu de l'exploitation. Les élevages de porcs et volaille sont par contre de taille conforme à la moyenne nationale.

A première vue, un éleveur qui dispose d'engrais de ferme diminue d'autant son besoin en fertilisants minéraux azotés. A ce titre, l'azote minéral des effluents organiques est pris en compte dans la méthode des bilans. Mais le devenir de cet azote dépend des conditions de stockage du fumier, et des conditions d'épandage ; de sorte que la part effectivement utilisée par la plante est difficile à estimer. De même, les effluents apportent de l'humus qui se minéralisera sur le long terme, mais pour fournir effectivement quelle quantité d'azote minéral? Cela est tout aussi difficile à estimer et sûrement négligeable devant les besoins globaux.

De même, les éleveurs considèrent que leurs apports de fumiers/composts assurent la fertilisation PK des parcelles fumées. Cela se vérifie : un apport classique (fumier de bovin à 20t/ha) contient environ 50 kg de P2O5 et 145 kg de K2O à l'hectare. Cela remplit largement les besoins en potassium. Au niveau du phosphore, l'apport devra être répété au minimum tous les deux ans pour les cultures moyennement exigeantes mais ne suffira jamais aux cultures exigeantes comme le colza. Il y a donc un besoin en fertilisant PK même après ajout d'engrais de ferme. La preuve en est que deux des agriculteurs rencontrés utilisent des fertilisants PK minéraux sur les parcelles où les engrais de ferme ne sont pas épandus.

Enfin, soyons optimistes, ces effluents de ferme sont susceptibles d'êtres méthanisés et non directement utilisés, ce qui efface le problème ! Dans tous les cas, nous n'appliquerons pas de modulation à la zone du Tarn ; elle serait hasardeuse. Pour la zone de Castelnaudary, les élevages sont trop anecdotiques pour se poser la question.

1.3.3 Notion de coefficient de substitution d'un engrais minéral

Ce coefficient introduit l'idée selon laquelle le passage d'un type d'engrais à un autre n'est pas toujours agronomiquement possible. Ici, cela concerne le dernier apport sur blé dur, l'apport « qualité » qui permet d'obtenir un taux élevé de protéines dans le grain. La R&D d'Arterris a étudié l'influence du type d'engrais sur les résultats qualité et a conclu que l'ammonitrate fournissait les meilleurs résultats. Ces essais pourraient être actualisés avec le digestat, mais entre temps, on considère que cet apport n'est pas substituable par du digestat. Les besoins du blé dur sont donc réduits de 50 unités/ha.

1.4 Validité des résultats

Les nouvelles exigences diminuent les besoins d'environ 22% dans la zone Castelnaudary et de 15 à 20% dans la zone Puylaurens (Tableau 10 de l'Annexe 13).

Vu le nombre d'approximations faites (même s'il nous semble difficile de faire mieux sans aller recueillir toutes les données agriculteur par agriculteur !), le résultat est largement critiquable. Il semblerait qu'il soit à la fois sous-estimé car toutes les cultures ne sont pas comptabilisées et à la fois surestimé car l'offre « concurrentielle » qui diminue les besoins n'est pas prise en compte.

1.5 Comparaison offre/demande et premières conclusions

Les derniers scénarios (août 2009) prévoient une production de 5000 t de digestat solide et de 11000 t de digestat liquide soit :

- 118 t d'azote ammoniacal /an
- 45 t de phosphore/an
- 85 t de potassium/an

Ainsi, la demande estimée en azote dépasse largement l'offre du méthaniseur : l'ensemble des agriculteurs de Puylaurens couvrent les besoins. Si l'on effectue un apport annuel de PK, l'échelle « Petite couronne » suffira amplement à couvrir les besoins. Si les agriculteurs apportent du PK tous les trois ans seulement, il faudra mobiliser une plus grande part des surfaces « Petite couronne ». Pour Castelnaudary, les dernières estimations Solagro datent de mai 2009 et le gisement a fortement évolué depuis ; on prévoit actuellement près de 21000 t de déchets en entrée. Quoi qu'il en soit, la tendance est la même.

Ces conclusions réduisent l'échelle de distribution du digestat. Cela était difficile à prévoir dès le départ ; je m'étais d'ailleurs lancée en parallèle dans la recherche de débouchés dans un rayon bien supérieur (environ 50 km). Il faudra donc rechercher à optimiser la valorisation locale de ce produit. On diminuera ainsi les coûts de transport, qui comptent pour 30 à 50% dans les charges totales de fonctionnement des unités danoises.

Par ailleurs, cela réduit aussi l'ambition du projet global : il ne s'agit plus de substituer les engrais minéraux pour être moins soumis au marché mondial. Un méthaniseur n'est qu'une pierre dans un chantier plus vaste à mener! On se place donc plutôt dans l'optique d'une multiplication de méthaniseurs sur le territoire Arterris.

2. Diagnostic de la demande en matière organique

L'apport de matières organiques contribue à l'augmentation de la teneur en MO stable des sols, donc au maintien de ses propriétés structurales. On estime que pour des sols à 30% d'argile, une teneur en MO de 2.5 % est nécessaire [Roussel, 2001] ; c'est l'objectif que nous suivrons.

Pour faire le diagnostic de l'état actuel, nous disposons de données à plusieurs échelles :

- l'évaluation du déficit en matière organique des sols français [Roussel, 2001]
- l'évaluation des gisements et débouchés des composts en Languedoc Roussillon, thématique qui a donné lieu à un colloque auquel j'ai assisté en mai 2009 [Ademe LRoussillon, 2007]
- la même étude réalisée à l'échelle d'Arterris par l'Ecole d'Ingénieurs de Purpan (EIP) [de Roquefeuil, 2008]
- le témoignage des experts (Pierre Castillon, Arterris) et des agriculteurs des territoires
- des analyses de sol

2.1 Données issues des rapports d'évaluations du marché compost

L'étude nationale conclut que 6 à 7.7 millions d'hectares de terres arables sont déficitaires en MO, principalement dans le Bassin Parisien, le Centre, le Nord, la Haute-Normandie, l'Aquitaine, Midi-Pyrénées, les Haut et Bas Rhin ; ce qui nécessite de 3.7 à 5.5 millions de tonnes de matière organique humifiée.

L'évaluation des débouchés des composts, autres sources de MO, nécessite d'étudier les besoins globaux des territoires en MO. L'étude menée par l'Ademe et le bureau d'études Ecotechnologie inclut le département de l'Aude (territoire de Castelnaudary). Même si le taux de MO est reconnu faible dans tous les départements de Grandes Cultures (dont l'Aude), les apports d'amendements organiques sont pratiquement inexistants sur Grandes Cultures. Les seuls apports proviennent de l'enfouissement des résidus de culture, à moins que ceux-ci ne soient vendus pour améliorer le bilan économique de la culture.

Le rapport précise que le besoin dépend du type de compost proposé. Dans l'Aude, leurs estimations prévoient que les composts de boues représenteront 90% des composts mis sur le marché en 2010, loin devant les composts de déchets verts (8%), les composts de biodéchets ou les composts de marcs (distilleries). En 2006, les grandes cultures utilisent à plus de 80% des composts de boues et mobilisent donc 63% de ce gisement. Toutefois, dans l'Aude, leur écoulement est jugé très difficile ; et les exploitants de plates-formes s'inquiètent pour l'avenir. La limitation des ventes s'explique par leur interdiction en viticulture AOC et par certains contrats de production de céréales transformées par des IAA (blé dur). Leur utilisation est par ailleurs interdite en Agriculture Biologique. Pour contrer les inquiétudes des utilisateurs, les exploitants des plates-formes envisagent de distribuer 100% des composts de boues en conformité avec la norme NF U44-095.

A ce stade, on en déduit donc qu'il existe une demande en matières organiques, principalement celles ne contenant pas de boues d'épuration ; notre digestat en fait partie.

Un projet d'ingénieur de l'EIP à Toulouse s'est aussi penché sur la question, dans le but de créer une entreprise de vente de composts au sein d'Arterris. Le territoire d'étude est centré sur Toulouse mais comprend notre territoire. Les étudiants ont réalisé une enquête auprès d'un échantillon d'adhérents Arterris ; elle fait ressortir que 45% d'entre eux « reconnaissent avoir des problèmes de battance des sols, et savent qu'un apport de MO pourrait améliorer leur situation ». Ils estiment que leurs sols ont moins de 1% de MO.

2.2 Avis d'experts, d'acteurs et données des analyses de terre

Les témoignages des techniciens de terrain impliqués, Mr Bondouy à Castelnaudary et Mr Dubac à Puylaurens confirment un besoin en MO. Dans la zone de Puylaurens, les engrais de ferme sont à ce titre une denrée précieuse, même sous contrainte de la zone vulnérable.
Nous avons rencontré cinq éleveurs « types », c'est à dire qui couvrent à eux cinq les types d'exploitations que l'on trouve dans le territoire : ils sont céréaliers, et mènent un élevage porcin, aviaire, bovin ou ovin. Lors des entretiens, le sujet de la MO était un –sinon le- premier sujet abordé, signe que cette problématique les concerne.

Pierre Castillon tempère ces observations. Selon lui, les sols du Lauragais sont proches des 2% moyens ; les « terreforts » sont riches en argile et se restructurent bien suite aux alternances gel/dégel hivernales. D'autre part, pour qu'il y ait un réel effet sur la structure du sol, il faut un apport fréquent et en quantités suffisantes, c'est-à-dire disposer d'une source proche et peu chère.

Nous recueillons auprès des laboratoires Eurofins Lara une compilation d'analyses effectuées chez des adhérents Arterris (Figure 9 et Figure 19 de l'Annexe 15).

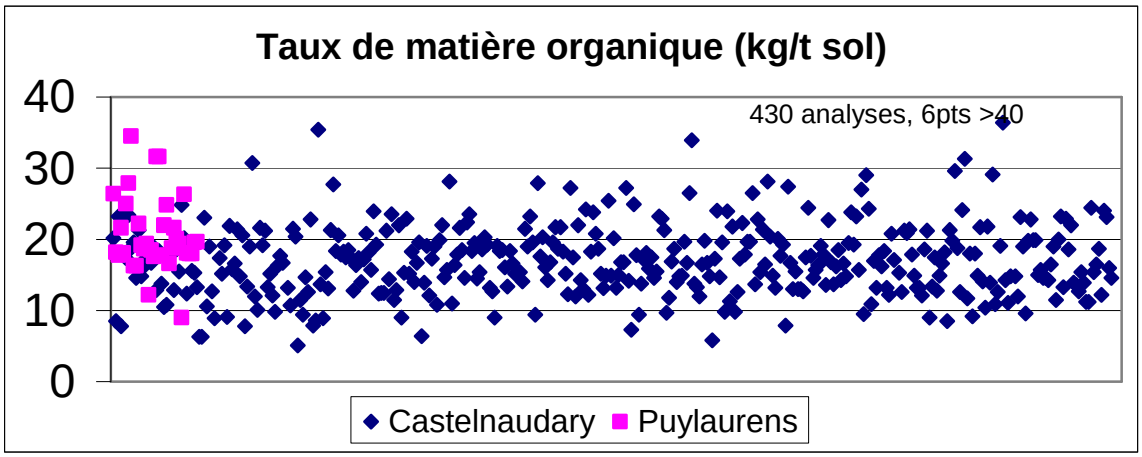


Figure 9 : Taux de matière organique des sols du territoire (source : M Etchart, données Eurofins Lara)

Ces analyses montrent que la teneur moyenne en MO des sols est de 1.75% ; ce qui relativise le déficit annoncé. La moyenne dans le secteur de Puylaurens est de 2.07%, ce qui serait en accord avec l'emploi supérieur d'effluents d'élevages. Cependant, cette moyenne ne provient que de 34 analyses (dont certaines issues d'une même exploitation) et de 6 communes ; il faut l'interpréter avec précaution.

2.3 Comparaison offre/demande en MO

Si l'on retient la valeur moyenne de 1.75% sur le territoire, cela signifie que la teneur des sols doit être augmentée de 0.75%. Le modèle bicompartimental d'Andriulo (Figure 10) est un modèle utilisé pour prévoir l'évolution de la matière organique des sols. Il remplace peu à peu le modèle monocompartimental d'Hénin-Dupuis vieux de 64 ans. La séparation en deux compartiments (humus stable/humus labile) paraît plus pertinente [Mary, 1994].

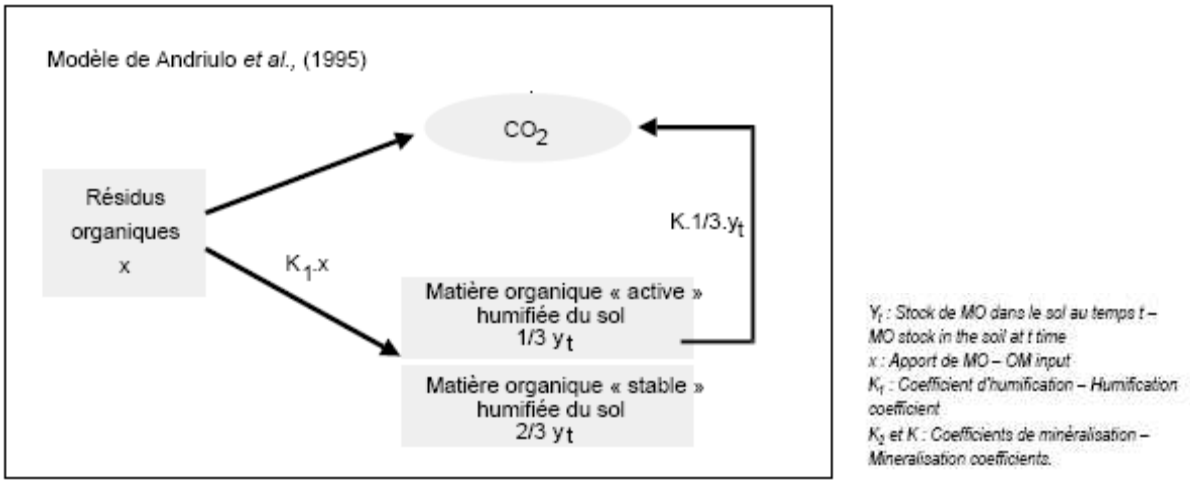

Modèle de Andriulo et al., (1995)
CO2
Résidus organiques x
K1.x
K.1/3.yt
Matière organique « active » humifiée du sol 1/3 yt
Matière organique « stable » humifiée du sol 2/3 yt
Yt : Stock de MO dans le sol au temps t – MO stock in the soil at t time
x : Apport de MO – OM input
K1 : Coefficient d'humification – Humification coefficient
K2 et K : Coefficients de minéralisation – Mineralisation coefficients.

Figure 10 : Modèle bicompartimental d'évolution de la matière organique dans le sol (source : Roussel, 2001)

Nous recherchons la valeur de x telle que y_t =2.5%. En prenant d_{sol} = 1.5, une profondeur de labour moyenne de 25 cm, cela revient à 94 t MO/ha. K1 est équivalent à l'indice de stabilité biologique que nous avons évalué à 0.23 pour le DS et à 0.04 pour le DL. On apporte en masse 69% de digestat liquide et 31% de solide. K, coefficient de minéralisation de l'humus, dépend dans ce modèle uniquement des conditions pédologiques : K = 10200 / ((Argile en g/kg +110) . (CaCO3 + 600)), soit K~= 0.036.

dy/dt = 0 donne K1.x = 1/3 K. yt, soit x * (0.31*0.23 + 0.69 *0.04) = 1/3 * 0.036 * 94
soit x =11,4 tonnes de résidus organiques/ha/an.

Le digesteur de Puylaurens fournit environ 16 000 tonnes de digestats. En prenant en compte sa composition actuellement estimée, ce digestat couvrirait les besoins de correction d'environ 1400 ha, soit largement la zone « Petite couronne » (Tableau 9).

ha	Surfaces cultivées en Blé dur, tendre, Mais, Tournesol et Colza	
Zone	***Public***	
Puylaurens	*Réel*	665
	Potentiel	2549
Petite couronne	*Réel*	2176
	Potentiel	8938
R=12 km	*Réel*	3395
	Potentiel	13638

Tableau 9 : Quantification des surfaces cultivées dans le secteur de Puylaurens (source : M Etchart)

Le besoin en matière organique est un fait avéré dans le territoire et surtout dans la zone céréalière de Castelnaudary. Dans une optique de « fertilisation optimale » et sous réserve de la validité des hypothèses de calcul, l'échelle de couverture des besoins à retenir est, comme pour la fertilisation, celle de la « petite couronne ». **C'est donc l'échelle « Petite couronne » qui sera retenue pour l'approfondissement des recherches de valorisation des digestats sur les deux zones d'étude.**

Partie IV : Nouveau produit, nouveau mode d'emploi

L'offre aux agriculteurs d'un nouveau produit doit s'accompagner d'une explication de son utilisation agricole, ou du moins d'une proposition d'utilisation optimale pour la fertilisation et/ou amendement des cultures.

1. Conditions d'apport préconisées

1.1 Ligne directrice : gestion optimale de l'azote minéral

Dans la partie III, nous avons constaté que les besoins dans le territoire d'étude portaient surtout sur l'azote et la matière organique ; les sols étant correctement pourvus en phosphore et surtout en potassium.

Par ailleurs, les pratiques de fertilisation ont un impact supérieur sur la quantité d'azote finalement disponible pour la plante que sur le P et K disponibles. En effet, P et K sont rendus indisponibles pour la plante principalement par érosion des particules de sol ou par transfert vers des compartiments insolubles du sol, ce qui dépend surtout de la nature du sol et de la gestion de sa stabilité structurale. Quant à l'azote, son cycle comprend plusieurs formes qui peuvent être perdues par lixiviation (nitrates) ou volatilisation (NH_3(g), N_2, N_2O, NO_x). De nombreuses études ont montré l'impact des pratiques de fertilisation sur la volatilisation de l'ammoniac, qui est la forme d'azote minéral présente dans nos digestats. Globalement, un chantier d'épandage mené par injection du fertilisant à basse température réduit les risques de perte d'azote ammoniacal [Rochette, 2008].

Enfin, la règlementation actuelle contraint les apports d'azote sur les communes du territoire classées en « zone vulnérable ».

Puisque nos digestats contiennent à la fois de l'azote, du phosphore, du potassium et de la matière organique humifiable, on apporte dans tous les cas les quatre éléments et on peut le quantifier. Cependant, pour les trois raisons citées ci-dessus, **le critère des choix sera d'abord la gestion de l'azote minéral**. Cela revient à considérer et le DL et le DS comme des fertilisants avant d'être des amendements.

1.2 Calendrier d'apport préconisé pour chaque digestat

Faute de statut spécifique des digestats, nous considérons que le DL est un fertilisant de type II *(« Fertilisant azoté organique donc le rapport C/N est inférieur ou égal à 8. Exemple : lisiers, engrais du commerce d'origine animale »)* et que le DS est du type I *(« Fertilisant azoté organique dont le rapport C/N est supérieur à 8 : fumiers pailleux, composts »*). On voit immédiatement que cette classification n'est pas satisfaisante, surtout pour le DS ! Les préconisations du 4ème programme de la Directive Nitrates du Tarn pourront donc, si nécessaire, être outrepassées en vue d'une reconsidération future du statut des digestats.

DIGESTAT LIQUIDE (type II)

	Janv		Févr		Mars		Avril		Mai		Juin		Juillet		Août		Sept		Oct		Nov		Déc	
Blé dur													R								S			
Blé tendre													R								S			
Colza												R				S								
Tournesol								S									R							
Maïs								S										R1		R2				
Prairies perm.																								

DIGESTAT SOLIDE (type I)

	Janv		Févr		Mars		Avril		Mai		Juin		Juillet		Août		Sept		Oct		Nov		Déc	
Blé dur													R								S			
Blé tendre													R								S			
Colza												R				S								
Tournesol								S									R							
Maïs								S										R1		R2				
Prairies perm.																								

S Date de semis
R Date de récolte
R1 : maïs ensilage
R2 : maïs grain

En priorité
En second choix
Interdit par la DNitrates du Tarn

Tableau 10 : Calendrier d'apport des digestats préconisé (source : M Etchart)

Les périodes d'apport « prioritaire » (Tableau 10) sont définies, par choix, à partir des stades de besoin des cultures en azote. Les cultures d'hiver voient leurs apports fractionnés de janvier à avril (cf. Annexe 12) et les cultures d'été d'avril à juin, selon la date de semis. Le colza est un cas particulier car son développement se fait en deux temps : développement du système racinaire avant l'hiver, puis croissance de la végétation aérienne en sortie d'hiver. On considère que les réserves du sol (minéralisation de l'azote organique de l'humus et des résidus de culture du précédent) sont suffisantes pour assurer le premier stade de développement, mais il reste envisageable d'apporter de l'azote ammoniacal à cette période. Pour les prairies permanentes, la repousse de la végétation s'effectue en février, puis les besoins jusqu'à juillet dépendent de la conduite de la prairie (pâturage/ fauchage + fréquence des coupes donc exportation de matière).

Concernant les périodes d'interdiction en zone vulnérable, on constate qu'elles sont plus nombreuses pour le DL. Cependant, elles ne coïncident pas avec les périodes que l'on recommande en priorité, donc le manque de statut du digestat n'est pas un vrai problème pour nous.

On observe que les préconisations ne portent que sur les six premiers mois de l'année. Or, la production du digesteur est continue : ce schéma nécessite donc de prévoir des unités de stockage pour environ 5000 m3 de liquide et 2500 tonnes de solide autour de Puylaurens. Le modèle développé par Valorem prévoit d'utiliser les unités de stockage existantes chez les éleveurs fournissant du lisier, et la construction d'unités supplémentaires réparties sur le territoire si besoin. Pour conserver la valeur azotée des digestats, il faudra que les unités soient couvertes… tout ça a un coût. L'autre possibilité serait de trouver d'autres utilisations de ces digestats entre juillet et janvier. L'option des prairies devrait aussi être approfondie.

1.3 Volumes à apporter : association une forme - une culture ?

Nous estimons à partir de la composition des digestats la relation volume apporté – quantités fertilisantes fournies (Tableau 11). La colonne « cas type » illustre concrètement l'objectif de fertilisation de la ligne en question. Par exemple, un apport de 200 kg/ha d'azote correspond à la fertilisation totale du maïs (« ΣA maïs ») en zone non-vulnérable ; un apport de 60 unités d'azote correspond à un apport quelconque sur céréales (cf. Annexe 12).

Objectif ferti. azotée (kg/ha)	**Cas type** (A = Apport) (ZV = Zone vulnérable)	**DL nécessaire (t/ha)**	Apports "fatals" (kg/ha)		
			P	K	humus
50	ΣA tournesol	6,3	6,9	35,6	0,23
60	1 A céréale	7,5	8,3	42,8	0,28
80	1 A maïs	10,0	11,0	57,0	0,38
120	ΣA blé dur **ZV**	15,0	16,5	85,5	0,56
150	ΣA Colza, Blé tendre, Blé dur	18,8	20,6	106,9	0,70
170	ΣA maïs **ZV**	21,3	23,4	121,1	0,80
200	ΣA maïs	25,0	27,5	142,5	0,94

Objectif ferti. azotée (kg/ha)	**Cas type** (A = Apport)	**DS nécessaire (t/ha)**	Apports "fatals" (kg/ha)		
			P	K	humus
50	ΣA tournesol	8,5	64,4	35,6	1,91
60	1 A céréale	10,2	77,3	42,7	2,29
80	1 A maïs	13,6	103,1	56,9	3,05

Tableau 11 : Relation volume de digestat solide - quantités d'éléments apportées (source : M Etchart)

Ainsi, pour apporter 50 unités d'azote, il faudra 6.3 m^3 de DL ou 8.5 m^3 de DS. Dans le cas du DL, on apporte alors en même temps 6.9 kg P, 35.6 kg K et 0.23 kg d'humus au sol. C'est apport supplémentaire non-azoté est irrémédiable car le digestat n'est pas un produit azoté pur ; d'où l'emploi d' «apports fatals ».

Au vu de ces résultats, on peut se demander quelle forme d'apport convient le mieux aux cinq cultures étudiées. Tous les sols ont besoin d'humus (on a estimé un apport nécessaire de MO de 11.4 tonnes par ha et par an) ; ce n'est donc pas un critère déterminant. Par ailleurs, on constate que pour un objectif de fertilisation donné, les apports de potassium sont quasiment égaux quel que soit le digestat. Cela vient du fait que le rapport Nmin/K est quasi identique pour les deux formes de digestat (~1.4). Le critère de choix sera donc l'apport en **phosphore**, d'autant plus que les sols en ont besoin à un taux d'entretien.

Lors de la séparation de phases, le phosphore reste principalement lié aux particules solides. Une tonne de DS apporte en conséquence environ dix fois plus de phosphore qu'une tonne de DL. D'après les calculs de besoin réalisés dans la partie III, les besoins en P des cultures sont les suivants (Tableau 12):

Culture	besoin P tous les ans	besoin P tous les 2 ans	besoin P tous les 3 ans
Blé dur	49	49	80
Blé tendre	40	40	50
Tournesol	22	22	27
Maïs	54	54	68
Colza	72	96	106

Tableau 12 : Estimation du besoin en phosphore de chaque culture (source : M Etchart, données Comifer)

L'ordre de grandeur des besoins est donc celui d'un apport de digestat solide pour toutes les cultures ! Même en fertilisant une culture uniquement avec du DL, on ne couvre pas ses besoins en P. Par exemple, pour le maïs en zone vulnérable (le cas type « ΣA maïs ZV »), on n'apporte que 23.4 kg P/ha/an, soit moins de la moitié du nécessaire.

Pour le tournesol, le résultat est moins tranché. En effet, nous avons estimé son besoin total en azote à 50 kg/ha/an, ce qui correspond à un apport maximal de 6.9 kg P/ha/an par le DL et de 64.4 kg P/ha/an par le DS. Son besoin de 22 kg de P/ha/an est donc adapté aux deux types de digestats.

Par ailleurs, les cultures sont plus ou moins exigeantes en P : on pourra privilégier les apports de DS sur la culture la plus exigeante, le colza, puis le blé dur.

Selon ce critère de choix Phosphore, le digestat solide est à préconiser sur les cultures dans l'ordre suivant : colza, blé dur, maïs, blé tendre puis tournesol.

2. Mesure des changements de pratique induits

2.1 Rappel des pratiques de fertilisation actuelles

Les données suivantes (Tableau 13) ont été recueillies auprès des techniciens de terrain, d'Entreprises de Travaux Agricoles (cf. Annexe 16) et vérifiées ultérieurement auprès de quelques agriculteurs.

EPANDAGE	**Engrais miné. NPK**	**Liquides (lisiers, *DL*)**	**Solides (Fumier, compost, *DS*)**
Agriculteur concerné	Tous	Eleveurs uniquement	Fumiers : Eleveurs Composts : Tous
Date apports sur céréales :			
Principales :	15 jan– 1er juillet	août - début octobre	août - début octobre
Autres :	PK: semis/avant labour	mars-avril avt cul. d'été	mars - avril
Matériel 1:	Epandeur à granulés	Tonne à lisier	Epandeur à fumier
Largeur travail :	18-32 m	~12 m	10-12 m
Capacité :	1000-3000 L	10-20 m3	~20 m3
Type épandage	Aspersion	Aspersion	Aspersion
Propriétaire ?	Oui	CUMA	CUMA
Matériel 2 :	/	Terragator	Epandeur à fumier
Largeur travail :	/	10 m	~16 m
Capacité :	/	12-25 m3	20-25 m3
Type épandage	/	Enfouissement	Aspersion
Propriétaire ?	/	ETA	ETA
Temps chantier : (hors préparation)	80 ha/jour soit 480 UN/h	max 25 m3/h* soit < 200 UN/h *pr DL*	Max 200 t/jour * soit <120 UN/h *pr DS*
Avantages :	rapidité/ précision/ sol&plantes peu abîmés	sol&plantes peu abîmés (sol nu)	sol&plantes peu abîmés (sol nu)
Inconvénients :	fenêtre temps disponible	lenteur/précision N	précision N

* dépend de la distance stockage -champ et de la dose d'apport
ETA : Entreprise de Travaux Agricoles,
CUMA : Coopérative d'Utilisation du Matériel Agricole

Tableau 13 : Pratiques actuelles d'épandage (source : M Etchart)

Au point de vue pratique, l'épandage des digestats est à envisager dans un premier temps avec la méthode appliquée aux produits de leur texture respective : fumiers/composts pour le DS et lisiers pour le DL.

Les apports de lisiers/composts/fumiers correspond actuellement plutôt à un apport d'amendement qu'à un apport fertilisant puisque les dates de besoin de la plante ne sont pas prises en compte. Dans le bilan du 3ème programme de la Directive Nitrates dans le Tarn, on peut lire que *« les apports organiques se font trop souvent en fin d'été pour des cultures d'été. Ces apports au cours de l'interculture de 6-8 mois sans couverture du sol favorisent la migration des nitrates dans les eaux ».* Les agriculteurs et les ETA recherchent plutôt à épandre dès que le précédent a été récolté, majoritairement sur sol nu ou chaumes, et avant incorporation par labour. Ainsi, les apports de lisiers sont plus des « vidanges de cuves » que des apports agronomiques puisqu'il est connu par tous que l'azote apporté avant l'hiver sur sol nu est inefficace.

On peut trouver deux explications à ces pratiques. La première est pédo-climatique : les « terreforts » sont des sols très argileux, présents sur environ 50% du territoire de Puylaurens (cf. Annexe 17), qui nécessitent une restructuration hivernale par gel/dégel. L'épandage sur ces sols est donc réalisé en automne, avant le labour, pour ne pas rentrer dans le champ par la suite. A ce titre, l'obligation d'implantation de Cultures Intermédiaires Pièges à Nitrate ne s'applique pas sur ces sols : une dérogation leur est accordée, assortie de mesures compensatoires visant à réduire les risques de pollution par un raisonnement de fertilisation plus précis. De plus, les conditions climatiques ne permettent pas toujours aux engins agricoles de rentrer dans les parcelles au printemps (cf. Annexe 17). La seconde est plus pratique : la charge de travail est inférieure en automne. Quelques agriculteurs reportent cet épandage organique au printemps, avant culture un tournesol ou un maïs, mais cela reste minoritaire devant les apports d'automne.

Par ailleurs, nous avons estimé la vitesse des chantiers d'épandage dans les trois cas, en l'appliquant aux digestats. Les apports de digestats nécessitent au minimum deux fois plus de temps que les apports minéraux. Ce facteur multiplicatif peut encore augmenter car la durée d'un chantier d'épandage de solide/liquide dépend beaucoup du temps « hors-épandage » (préparation, chargement du digestat, transport, etc.) [Thirion, 2003]. Ce temps « hors-épandage » est négligeable dans le cas des granulés minéraux. En effet, pour reprendre l'exemple du tableau, 480 unités d'ammonitrate (Ammonitrate 33.5%, d=0.9) équivalent à 1440 kg d'engrais soit 1600 l de granulés: avec un épandeur de 3000 l, on peut travailler environ 2h en continu et fertiliser 15 ha d'affilée à 60 UN/ha.

De plus, on constate que les largeurs de travail diffèrent : les épandeurs d'engrais actuels projettent à 18/24/32 mètres alors que l'épandage de solide/liquide peut varier de 8 à 16 mètres selon l'équipement. Cela a une conséquence sur la conduite globale de la culture : il faudra prévoir un passage de roues adapté à tous les apports ; par exemple un passage tous les 12 m pour fertiliser avec du digestat tous les 12 m et appliquer les produits phytosanitaires tous les 24 ou 36m.

Enfin, les épandeurs à engrais sont souvent individuels alors que les épandeurs à solide/liquide sont soit collectifs en CUMA, soit propriétés de prestataires de service (ETA). Dans le premier cas, l'agriculteur est libre de choisir ses dates de fertilisation. Dans le second, il est soumis à l'organisation collective, mais peut gagner du temps s'il délègue l'épandage à une entreprise spécialisée… moyennant rétribution!

En conclusion, on constate que la fertilisation NPK minérale diffère complètement des fertilisations organiques pratiquées, au point de vue du matériel employé, des dates d'apport et de l'organisation du chantier d'épandage. **Le passage d'un engrais minéral à un digestat n'ira pas de soi d'un point de vue « pratique ».**

2.2 Changement de raisonnement pour le digestat solide

Que ce soit en grandes cultures ou au sein d'un élevage, le raisonnement d'apport de la matière organique « solide » est le même : globalement, c'est un amendement que l'on apporte en automne. En effet, les fumiers/composts contiennent peu d'azote sous forme minérale (surtout si les temps de stockage sont longs), cela convient aux conditions pédo-climatiques locales et au calendrier de travail. De plus, faute de connaître la composition exacte des effluents, on raisonne en tonne/ha et non en unités d'éléments apportés.

Ce raisonnement ne peut plus s'appliquer aux digestats : selon le tableau 11, 16.6 tonnes de DS apportent dans des conditions optimales déjà 80 unités d'azote ammoniacal /ha, donc autant de perdu avec une application d'automne.

Il faut donc inciter les agriculteurs à épandre le DS au plus près des besoins, comme préconisé dans le calendrier précédent. Toutefois, il faut distinguer le cas des cultures d'hiver de celui des cultures d'été. En effet, on évite de passer sur les cultures après leur semis avec un engin lourd type épandeur à fumier, *seule* machine dont nous disposons. On peut alors envisager d'apporter du DS juste avant le semis ou juste après, mais uniquement sur les cultures d'été et le colza. En effet, la durée entre apport et consommation d'azote pour une culture d'hiver serait trop longue, comme le soulignait la Directive Nitrates. Pour le colza, nous retenons que les réserves du sol sont suffisantes au développement automnal du système racinaire donc nous en resterons aux apports de printemps.

Nous allons donc inciter les agriculteurs à épandre le DS au printemps, en essayant de solutionner leurs problèmes actuels. La création d'une prestation externe, assurée par la société Valterris ou des ETA est envisageable. Nous avons contacté quatre ETA, toutes étaient intéressées car déjà équipées en matériel d'épandage. Au passage, la dose minimale à apporter est de 10 t/ha : en dessous, la régularité de l'épandage n'est plus assurée. Cela permettrait d'alléger la charge de travail des agriculteurs en contrepartie d'un coût supplémentaire ; alternative que l'agriculteur acceptera ou non (cf. partie IV). *A priori*, les agriculteurs ont l'habitude d'un apport de compost « rendu racine », c'est-à-dire incluant les prestations de transport et d'épandage.

2.2.1 Détermination de la date d'apport minimisant les pertes d'azote

Le changement de pratique n'est intéressant que si l'on peut garantir que l'azote sera effectivement utilisé par les plantes au printemps, c'est-à-dire que les pertes par volatilisation et lixiviation seront minimes.

La quantité d'ammoniac volatilisé dépend (Figure 11) de la quantité apportée, de son exposition à l'atmosphère (type d'épandage) et des conditions qui favorisent la forme gazeuse (CEC faible, température et pH élevés).

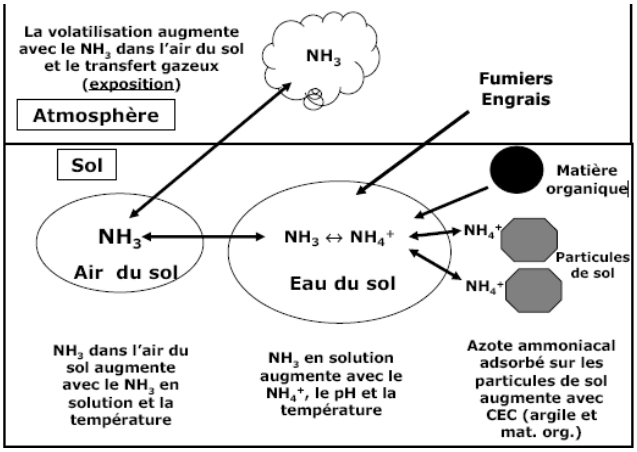

La volatilisation augmente avec le NH3 dans l'air du sol et le transfert gazeux (exposition)
NH3
Fumiers Engrais
Atmosphère
Sol
Matière organique
NH3
Air du sol
NH3 ↔ NH4+
Eau du sol
NH4+
NH4+
Particules de sol
NH3 dans l'air du sol augmente avec le NH3 en solution et la température
NH3 en solution augmente avec le NH4+, le pH et la température
Azote ammoniacal adsorbé sur les particules de sol augmente avec CEC (argile et mat. org.)

Figure 11 : Paramètres régissant la volatilisation de l'ammoniac dans le sol (source : Rochette, 2008)

Il y a donc des paramètres intrinsèques (pH, CEC du sol), et des paramètres sur lesquels on peut jouer : type d'épandage et température (moment d'apport). L'influence du type d'épandage a beaucoup été étudiée pour les lisiers ; nous utiliserons ces résultats pour le DS. Selon Rochette [Rochette, 2008], un lisier laissé à la surface du sol perdra en moyenne 50% de son azote ammoniacal. De plus, plus de la moitié de la volatilisation se fera dans les dix premières heures suivant l'application : **il faut donc que le travail du sol se fasse immédiatement après épandage**. On peut limiter les pertes à moins de 5% en injectant directement du lisier dans le sol. Par ailleurs, une application en fin de journée réduit les pertes d'environ 34% par rapport au même apport entre 11h et 13h.

La nitrification de l'ammoniac dans le sol nécessite de un à cinq jours ; le phénomène est donc rapide. Ensuite, la lixiviation des nitrates, forme soluble, dépend de deux paramètres principaux :

- capacité d'absorption d'azote par les plantes ou bactéries du sol. Typiquement, **cette capacité est proche de zéro si le sol est nu.**
- bilan pluviométrique et saturation du sol qui conditionnent l'entraînement en profondeur de la solution du sol donc des nitrates non absorbés. Une application avant pluie augmente les risques de lixiviation.

Dans ce cas, on peut jouer sur le paramètre «date d'apport » pour limiter la lixiviation, en épandant sur cultures en place et par temps sec.

L'étude des paramètres dictant la nitrification et la volatilisation fait apparaître un dilemme : on ne peut <u>et</u> réduire la volatilisation (labour) <u>et</u> la lixiviation (culture en place) car on ne peut pas travailler le sol si la culture est en place. De plus, nous de connaissons pas de matériel qui enfouisse un solide directement en inter-rang, contrairement aux nombreux systèmes d'enfouissement de liquides. Il faut donc estimer les risques de pertes d'azote dans chaque cas (apport avant semis/ sur culture) et en déduire la date d'apport optimale :

- Les « terreforts » ont un pH basique voire très basique (favorisant la forme gazeuse dans le sol donc la volatilisation) ; les « boulbènes » ont un pH acide, autour de 5-6.
- Les sols de type « terrefort » ont une teneur en argile forte (autour de 30%) donc un potentiel de rétention cations (NH_4^+) ; les sols de type boulbène sont pauvres en argile et bien drainants.

→ Les deux sols présentent chacun des avantages/inconvénients pour la perte d'azote.

- Les sols ont une CEC moyenne (autour de 160 meq/kg)
- Les précipitations sont faibles en mars-avril avec un bilan hydrique inférieur à 10 mm de pluie (cf. Annexe 17), ce qui minimise les risques de lixiviation. Toutefois, les pores du sol sont saturés jusqu'à fin avril : une pluie exceptionnelle est à craindre, comme cela a été le cas en 2009.

D'autre part, techniquement, les agriculteurs et ETA préfèrent épandre sur sol nu car on ne risque pas de piétiner et d'abîmer la végétation ou les semis.

Au bilan, il est difficile de trancher entre les deux options. Toutefois, les faibles risques de lixiviation au printemps et le côté pratique nous font préférer un apport <u>suivi d'un labour immédiat</u> avant le semis des cultures d'été. Il serait intéressant de mesurer expérimentalement les pertes d'ammoniac pour chaque option.

2.2.2 Modulation du volume d'apport conseillé

On a vu que l'on pouvait réduire les pertes par volatilisation, mais il semble difficile de les réduire à zéro. Les pertes ont été chiffrées pour du lisier, pas pour les fumiers/composts.

Or, on observe que l'augmentation de la teneur en matière sèche d'un lisier réduit sa

vitesse d'infiltration dans le sol donc augmente son potentiel de volatilisation [Rochette, 2008]. On suppose donc que les résultats pour le digestat sont supérieurs à ceux du lisier dans les mêmes conditions d'épandage. De plus, sur prairies permanentes, le labour n'est pas envisageable. Ainsi, il faudrait dans tous les cas rehausser la dose d'apport recommandée précédemment ... de 10%, 20% ? Nous ne sommes pas en mesure de conclure.

2.3 Changement total à prévoir pour le digestat liquide

Notons dès à présent que les solutions liquides sont aussi une forme d'apport des engrais minéraux azotés : une solution azotée comprend environ 82% d'azote, à moitié sous forme ammoniacale et à moitié sous forme uréique. Cet apport est assez pratiqué dans le Bassin Parisien, mais peu dans notre territoire d'étude. Ce n'est donc pas un élément de comparaison d'apport « liquide » ; on ne s'intéresse qu'au lisier.

2.3.1 Changement plus important que dans le cas du digestat solide

On retrouve pour le liquide les mêmes problématiques que pour le solide : il faut modifier la date d'apport pour se rapprocher des besoins de la plante en azote. Toutefois, la bibliographie nous apprend qu'il existe des systèmes bien plus performants que l'existant (tonne à lisier) pour optimiser l'apport d'azote ammoniacal ; nous les décrirons ultérieurement. Qui plus est, les tonnes (comme les épandeurs à fumier) ne permettent pas d'assurer les épandages sur céréales d'hiver.

Puisque nous connaissons du matériel capable *a priori* d'assurer la fertilisation des céréales d'hiver –donc un débouché autre que celui du DS -, nous allons étudier de plus près la possibilité de **fertiliser les cultures d'hiver avec du digestat liquide.** Cela implique donc et un changement de raisonnement et un changement de matériel.

Il n'est pas envisagé (ni envisageable) que les agriculteurs s'équipent individuellement de ce nouveau matériel. En conséquence, le changement évoqué s'accompagne d'une modification de l'organisation de la fertilisation. Signalons néanmoins que certaines ETA effectuent déjà des enfouissements de lisier dans la zone : la technique est donc connue.

2.3.2 Adapter la matière à la pratique ou la pratique à la matière ?

Pour éviter un double changement, on peut rechercher à utiliser les autres équipements de l'agriculteur. En effet, hormis la fertilisation, d'autres postes nécessitent de manipuler du liquide : il s'agit de l'irrigation et du traitement phytosanitaire. On peut donc envisager d'utiliser les canons et rampes d'irrigation dans le premier cas ; les pulvérisateurs dans le second.

Le pulvérisateur semble être la solution idéale : chaque agriculteur en possède un, son utilisation ne modifie pas l'organisation du champ (passages de roues) et la période d'épandage correspond exactement aux besoins de la plante, puisque traitements phytosanitaires et fertilisation sont réalisés sur culture. Toutefois, un pulvérisateur a une contenance de moins de 3000l : une cuve ne peut contenir que 24 unités d'azote ammoniacal ; ce qui ne couvre même pas un demi-hectare. La dilution du DL est donc un obstacle rédhibitoire à l'utilisation du pulvérisateur.

L'utilisation des rampes d'irrigation semble aussi envisageable, mais cela requiert un liquide « parfait », sans matière sèche. Or, le digestat contient 5% de matière sèche donc potentiellement des particules de diamètre supérieur à celui des buses. Un agriculteur contacté par téléphone témoigne de problèmes de bouchages alors qu'il épandait du lisier par canon d'irrigation. Il était donc très sceptique quant à l'utilisation de DL à l'aide de rampes, voire de pulvérisateurs (diamètres de buses décroissants). Un autre agriculteur (hors de la zone d'étude) épand ses lisiers par rampe d'irrigation, mais des rampes dont les buses ont été modifiées.

En tout cas, cela introduit l'idée que l'on peut non pas adapter le matériel au digestat mais plutôt modifier les caractéristiques du digestat pour le rendre adapté au matériel. Schématiquement, chaque option a ses atouts (Tableau 14) :

ADAPTER LE MATERIEL	ADAPTER LE DIGESTAT
• Optimiser la gestion de l'azote • Minimiser les coûts de production du digestat	• Augmenter la liberté des chantiers d'épandage pour l'agriculteur • Minimiser les coûts d'épandage

Tableau 14 : Atouts principaux de chaque option d'adaptation (source : M Etchart)

Dans le cas présent, l'utilisation du matériel ne permet pas d'optimiser la gestion de l'azote. En effet, dans les deux cas, on pulvérise du liquide dans l'air. Cette pulvérisation augmente significativement la volatilisation de l'azote. Qui plus est, dans l'Arrêté du 7 février 2005 fixant les règles techniques auxquelles doivent satisfaire les élevages de bovins/volailles/porcs ICPE soumis à autorisation, on peut lire : *« L'épandage par aspersion n'est possible que pour les eaux issues du traitement des effluents. Il n'est pas autorisé pour les eaux issues des élevages bovins si elles n'ont pas fait l'objet d'un traitement. L'épandage par aspersion doit être pratiqué au moyen de dispositifs qui ne produisent pas d'aérosol.* » D'une part, le terme « traitement » n'inclut pas forcément la méthanisation (il faudrait une validation préfectorale) et d'autre part, les canons et surtout pulvérisateurs produisent des « aérosols ». On pourrait adapter des pendillards sur rampe et sur pulvérisateur mais dans ce cas, on ne minimise plus le coût d'épandage.

Dans la logique que l'on s'est fixée, on tentera donc plutôt de proposer de nouveaux équipements d'épandage aux agriculteurs, sans toutefois s'interdire d'évoquer ce qui précède.

2.3.3 Nouvelles techniques d'épandage proposées

Dans tous les cas, il s'agira d'un investissement, de Valterris ou d'ETA intéressées. Nous avons le choix entre plusieurs nouveaux équipements qui minimisent les pertes d'azote ammoniacal : enfouisseurs (type Terragator), épandeurs à pendillards (rampe d'épandage prolongée de tuyaux flexibles jusqu'au niveau du sol) ou le Duoadapter®. Ce dernier est un prototype en cours de développement, étudié par Valorem sur un projet en Bretagne. Il se compose d'une plate-forme tractée (à déposer dans le champ), reliée à un mobile qui épand en autonomie par une rampe à pendillards. Ces matériels sont illustrés en Annexe 18 et comparés sur plusieurs points (Tableau 15) :

« + » : matériel adapté	**Epandage ombilical**	**Terragator**	**Duoadapter®**
Simplicité logistique	-	-	+/-
Possibilité épandage janvier-juin	+/-	+/-	+
Optimisation de l'apport azoté	+	++	+
Faible tassement du sol	+	++	++

Tableau 15 : Avantages/inconvénients de chaque appareil d'épandage de digestat liquide (source : M Etchart)

La logistique est le point faible des trois techniques : dans tous les cas, deux chantiers parallèles sont à organiser : un chantier d'épandage et un chantier d'approvisionnement en digestat de l'épandeur. En effet, contrairement aux tonnes à lisier, ces équipements ne sont

pas adaptés à la circulation sur route. Une alternative est d'utiliser les systèmes d'irrigation pour amener le liquide ; mais cela n'est possible qu'à proximité de l'unité et moyennant sa mise sous pression en entrée de canalisations. Le Duopadapter® est un matériel autoporteur qui se déplace en autonomie une fois installé : sa logistique est moins lourde que dans les autres cas.

Les trois matériels permettent de passer sur des cultures en place. L'épandage ombilical et le Duopadapter® apportent le liquide au niveau du sol donc ne salissent pas la végétation ; le Terragator peut enfouir entre les rangs. Cependant, l'enfouissement entre les rangs ne peut se faire que si la végétation est récente, pour des problèmes de hauteur et de destruction des racines. De même, l'ombilic, qui serpente à travers le champ risque d'abîmer une végétation bien en place. Le Duopadapter® semble donc avoir la fenêtre de temps d'épandage la plus grande de janvier à juin.

Les trois matériels sont conçus pour limiter le tassement du sol : le Terragator a des pneus basse pression, le Duopadapter® est un petit mobile autoporteur et l'épandage ombilical n'a que le poids du tracteur avec rampe. De même, ils sont conçus –on les a choisis pour cela – pour limiter les pertes en azote. Le Terragator, seul système enfouisseur, possède un léger avantage pour ce critère.

A ce stade, les trois systèmes semblent cohérents et peuvent être soumis à l'avis des agriculteurs et professionnels de l'épandage.

2.4 Bilan

Concernant le solide, l'épandage avec le matériel existant devra être réorienté vers le printemps ; cela ne paraît pas être un obstacle majeur à son utilisation. Aussi, en croisant les conclusions des parties 1.3 et 2.2.1, on le préconisera d'abord sur maïs.

Concernant le liquide, nous avons décelé des matériels adaptés à un épandage satisfaisant sur céréales. Toutefois, il s'agit là d'un investissement, et de chantiers d'épandage nouveaux à organiser : nous devons recueillir l'avis des personnes sur le terrain avant de conclure sur une quelconque préconisation.

3. Consultation du monde agricole : test des hypothèses

3.1 Une consultation retardée dans l'emploi du temps

La méthodologie initialement établie sur Puylaurens avec Valorem était la suivante :

- récolte de données générales sur l'agriculture du territoire (Arterris et Valorem), recherche de partenaires industriels et débouchés de chaleur (Valorem à l'aide d'Arterris) pour aboutir à un premier scénario, retravaillé avec Solagro. En parallèle, mise en place du cadre de gestion du digestat (Arterris à l'aide de Valorem)
- présentation du scénario aux agriculteurs-éleveurs et élus de Puylaurens
- prise de rendez-vous et rencontre des éleveurs ayant participé à la réunion, pour affiner les données de déchets et tester les hypothèses sur le digestat.
- Etude de faisabilité concluant à la viabilité du projet

Les deux premières étapes ont conduit à une présentation publique, le 15 juin à Puylaurens. Dans le projet global, une distinction est faite entre les éleveurs et les céréaliers. En effet, seuls les éleveurs sont des potentiels fournisseurs de déchets. Les céréaliers le seront peut-être dans le futur : un projet appelé Metcico a été lancé par un partenariat entre Arterris et Arvalis-Institut du Végétal pour évaluer la faisabilité de la mise en place de cultures intermédiaires dédiées à la valorisation biomasse d'une part, la récupération des résidus de récolte d'autre part. L'étude ne devrait fournir ses conclusions qu'en 2012 ; d'ici là, seuls les éleveurs sont considérés comme des fournisseurs de déchets. Ainsi, cette première

présentation a été axée sur leurs problématiques (mises aux normes des installations, plans d'épandage, etc) donc les non-éleveurs n'ont pas été conviés. Notons tout de même que dans la zone, quasiment tous les éleveurs sont aussi céréaliers afin de produire les aliments du cheptel.

La présentation avait un but informatif : présenter la démarche territoriale, le partenariat avec Arterris, les avantages d'un tel projet pour un éleveur-céréalier et les premiers éléments de diagnostic sur Puylaurens : tonnage déchets potentiel, emplacement de l'unité, valorisations chaleur trouvés. La réaction du public n'a pas été celle attendue : tout d'abord, très peu de personnes (moins de 10 agriculteurs) se sont déplacées. Ensuite, les participants ont orienté les questions vers des points très précis (ex : fréquence d'enlèvement des fumiers vers le digesteur) auxquels nous ne pouvions pas répondre de manière précise à ce stade d'avancée. Au final, les agriculteurs sont ressortis peu convaincus par le projet, malgré ce que laisse entendre l'article publié dans le *Paysan Tarnais* (cf. Annexe 19)!

Il a donc été décidé d'annuler la phase de rencontre des agriculteurs car le même scénario risquait de se reproduire, ce qui est très dommageable pour le projet ! Nous avons plutôt décidé de travailler avec quatre éleveurs-types, qui avaient assisté à la réunion et semblaient intéressés par une implication dans le projet : un éleveur de porcs, un de vaches allaitantes et un d'ovins. Un second éleveur de porcs ayant beaucoup intervenu pendant la réunion a aussi été recontacté, ainsi qu'un éleveur de volailles n'ayant pas pu assister à la réunion. Ces rencontres individuelles ont eu pour objectif de mieux cerner les enjeux de chaque filière et de voir comment la méthanisation pouvait y répondre (notamment par le digestat). Les données de gisements plus précises (par exploitation) ont été recherchées dans les bases de données d'Arterris.

Le 27 juillet, une table ronde a rassemblé ces agriculteurs ainsi qu'un membre de la CA du Tarn et le chef de région Arterris pour faire un bilan de ces rencontres individuelles. La réunion a volontairement été centrée sur le thème du digestat (cf. Figure 24 de l'Annexe 19) ; ce qui m'a permis de tirer les conclusions détaillées ci-après.

3.2 Un digestat solide attrayant

Les agriculteurs voient dans le digestat solide un amendement organique d'abord, un fertilisant PK ensuite. Ils l'assimilent en fait d'emblée à un fumier ou un compost. Après présentation des calculs, ils ont compris que ce digestat avait aussi une valeur azotée. Toutefois, ils semblent encore réticents à un épandage de printemps. On m'explique que les semis de maïs et tournesols sont faits de plus en plus tôt car un semis précoce garantit un meilleur rendement. La fenêtre de temps proposée se restreint donc à mars. Un autre problème est soulevé : puisque la production est continue de janvier à décembre, on ne peut pas garantir que l'azote ammoniacal du DS produit en mai subsistera jusqu'un mars prochain. Les aires de stockage actuelles des agriculteurs sont soit des aires bétonnées, soit le bord des champs. Dans les deux cas, il semble onéreux d'envisager de toutes les couvrir. On propose plutôt de répartir l'épandage en deux périodes : la production de mars à septembre serait gérée classiquement (stockage bord de champ, épandage d'un amendement en automne) ; la production d'octobre à mars serait couverte et épandue comme préconisé, c'est-à-dire en engrais « double effet ». Cela permettrait aussi de diviser les coûts d'investissement dans les unités de stockage couvertes par deux, et de diminuer l'aléa « climat » de printemps. Cette option est donc intéressante pour la société Valterris, mais moins pour Arterris : il s'agit là de renoncer à la moitié de la valeur fertilisante du produit !

Globalement, les agriculteurs sont donc motivés pour recevoir du DS ; les dates d'apports restent à être adoptées en fonction de la stratégie globale de Valterris. La question du prix du digestat n'a pas été abordée, et pour cause : elle n'a pas encore été tranchée au sein du partenariat Arterris-Valorem (cf. partie V).

3.3 Des difficultés pour le digestat liquide

3.3.1 Concernant le produit lui-même

En matière de fertilisants azotés, les agriculteurs ont deux références : les lisiers et les engrais minéraux. Les premiers sont très mal perçus ; ils constituent un fardeau pour l'agriculteur car les temps d'épandages sont beaucoup plus longs et contraignants que pour les engrais minéraux. Le digestat, de par sa faible concentration, se rapproche le plus du lisier et est donc d'emblée mal perçu.

3.3.2 Concernant la date d'apport

Le fait d'épandre sur culture est aussi gênant : certains craignent que l'azote ammoniacal brûle les feuilles, surtout si la fertilisation n'est pas suivie d'une irrigation nettoyante. Toutefois, l'épandage de lisier sur culture n'est pas nouveau ; un des agriculteurs le pratique déjà sur du jeune sorgho, sans observation de détérioration. Un autre agriculteur qui épandait du lisier au canon (avant irrigation) sur cultures à un stade de développement avancé constate un jaunissement des feuilles, mais qui ne dure pas plus de trois jours et sans conséquences pour la suite.

3.3.3 Concernant le matériel proposé

Nous abordons lors des rencontres, les deux options qui sont d'utiliser le matériel existant en modifiant le digestat, et d'utiliser un nouveau matériel d'épandage en conservant les caractéristiques du digestat.

Les agriculteurs ne souhaitent pas utiliser leur propre pulvérisateur pour deux raisons. D'une, ils ont peur de l'abîmer en le bouchant ou simplement en usant ses canalisations en plastique. Ensuite, vu la dilution du produit, les chantiers d'épandage sont jugés beaucoup trop longs (il faut remplir minimum deux cuves pour fertiliser un hectare).

Concernant les matériels présentés, le Duopadapter® apparaît peu adapté à notre zone. En effet, son autonomie est garantie dans des parcelles plates et rectangulaires ; peut être pas dans les coteaux du Lauragais. Valorem envisage tout de même d'organiser une journée de visite en Bretagne pour ce matériel. Les autres matériels sont connus pour optimiser l'azote, mais les agriculteurs restent en attente de données précisant l'organisation des chantiers dans le projet. Ils veulent aussi savoir combien la prestation leur sera facturée ; décision qui relève des calculs économiques à l'échelle du projet (cf. partie V).

3.3.4 Concernant le fond de cette valorisation

Au-delà des considérations pratiques, on se demande même si la valorisation agricole de ce DL est cohérente d'un point de vue énergétique et environnemental : y a-t-il un intérêt à transporter, stocker et épandre de l' « eau », surtout si on prend en compte les risques de volatilisation à toutes les étapes ? On aborde là le thème des analyses de cycle de vie. La bibliographie comprend des ACV sur le biogaz, mais aucune à ma connaissance sur le digestat ; peut être car les options de valorisation du digestat sont plus complexes à étudier et plus « localement ancrées » que celles du biogaz. Solagro en partenariat avec l'ADEME a développé un outil, « Planète » qui calcule les consommations d'énergie et les émissions de GES à l'échelle de l'exploitation agricole. Depuis 1999, plus de 1500 bilans ont été réalisés et permettent de conclure [Solagro, 2007] que « *la consommation d'énergie des exploitations est plus que doublée lorsqu'on comptabilise l'énergie utilisée pour la fabrication des intrants, en particulier les engrais* ». Le bilan de l'épandage d' «eau » reste donc sûrement positif ; à vérifier encore avec l'outil planète. Ce dont on est sûr, c'est que le bilan global d'une unité de méthanisation est positif ; raison pour laquelle l'ADEME accompagne la mise en place de nouvelles unités, qu'elles soient individuelles (agricoles) ou collectives.

3.4 Prévoir une gestion alternative du digestat liquide

Les agriculteurs ne sont pas enthousiastes vis-à-vis de ce DL ; et c'est pourtant le public que l'on cible pour l'utilisation de plus de 10 000 t de matière par an. De plus, on le répète, la gestion du digestat est une préoccupation importante à l'échelle du projet global. Les solutions proposées ne conviennent pas en l'état : il faudra les améliorer ou en proposer d'autres.

La principale piste d'amélioration consisterait à concentrer le digestat pour le rapprocher d'un engrais minéral. Cela passe par l'investissement dans une installation de séchage (par évaporation naturelle ou par énergie thermique). Soulignons que ce surcoût (Tableau 16) ne permettrait pas de *mieux* valoriser le digestat, mais de le valoriser tout court…

Paramètres économiques		Hypothèse séchage 5000 t
Coût investissement	81 €/ t traitée	405 000 €
Coût exploitation	11 à 13 €	55 000 €
Paramètres techniques		
Surface demandée	~ 200 m²/10000 t	~ 100 m²
Temps de travail		300 h/an
Energie consommée	1 Mwh/t eau évaporée	~ 4000 MWh

Tableau 16 : Estimation du surcoût de séchage de digestat liquide (source : Valorem)

Sinon, il faut rechercher des alternatives auxquelles nous n'avons pas pensé. Sans l'avoir plus approfondi, la valorisation sur prairies, sur sorgho, sur TTCR ou en maraîchage (systèmes de goutte à goutte) semblent être des pistes intéressantes, à creuser. Par exemple, le TTCR de saules est une culture pérenne destinée à la production de bois énergie. Il se récolte tous les deux ou trois ans sur une durée de 20 à 25 ans. Cette culture est très développée en Suède avec plus de 20 000 ha plantés. Dans le cas d'une irrigation avec des eaux usées, la production de biomasse verte est de l'ordre de 15 tonnes de matières sèche /ha/an, soit une production 2 à 3 fois supérieure à celle obtenue sans irrigation [Ademe LR, 2007].

En *dernière* alternative, on peut envisager de valoriser le digestat non pas en tant que fertilisant, mais seulement en tant que liquide d'irrigation. Il serait destiné aux grandes cultures, plates-formes de compostage ou collectivités par exemple. Ce serait une modification complète du schéma initial.

Partie V : Approche marketing & commerciale des digestats

1. Méthodologie : les cinq forces de Porter

Nous avons vu dans les parties précédentes que les digestats étaient des produits nouveaux : nouveauté de bonne augure pour le DS ; nouveauté pour l'instant contraignante en ce qui concerne le DL. A ce titre, Arterris souhaite développer pour les digestats une gamme à part entière qui propose des nouvelles pratiques (cf. partie IV) ... mais aussi un nouvel ordre de prix que nous voulons établir ici.

Le modèle des cinq forces de Porter (Figure 12) permet de simuler une situation de concurrence et d'estimer la rentabilité de l'activité engagée. Nous allons ici le simplifier à quatre forces : en tant que première unité de méthanisation collective de la région, nous négligeons l'intensité de la concurrence intra-sectorielle. De même, nous négligerons les nouveaux concurrents par manque de données. Il s'agirait principalement de nouvelles plates-formes de compostage. Notons tout de même que le coût de l'investissement et la technicité requise pour une plate-forme de compostage sont assez faibles. En conséquence, l'accessibilité du marché à de nouveaux entrants est forte.

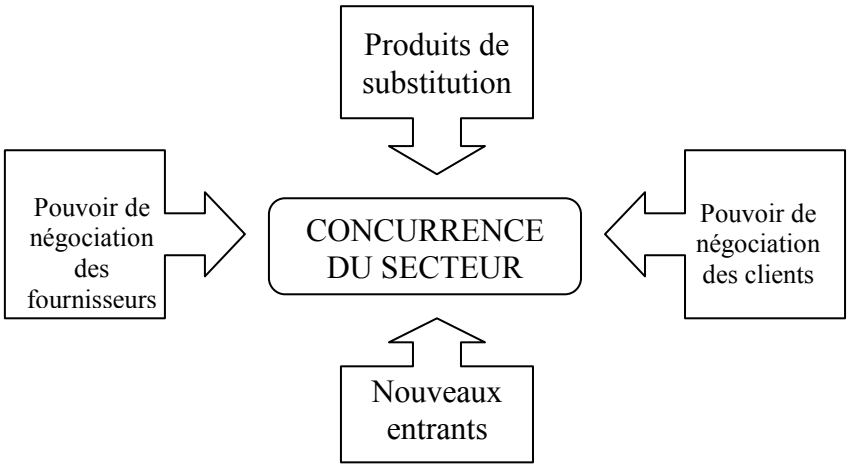


Figure 12 : Modèle simplifié des cinq forces de Porter (source : De Roquefeuil et al., 2009)

Par ailleurs, l'activité étudiée est la vente de digestats. Nous sommes donc placés en aval du méthaniseur et sommes nos propres fournisseurs ; ce qui limite la concurrence à deux forces : **les produits de substitution et le pouvoir de négociation des clients.**

Le DS est à mi-chemin entre un fertilisant et un amendement agricole. Bien que ce produit soit nouveau, il peut être substitué par une combinaison entre fertilisants classiques et amendements organiques. De plus, il est issu d'un procédé, la méthanisation, qui améliore les qualités de la MO au même titre que le compostage. Les composts sont vendus en tant qu'amendements mais aussi fertilisants PK : ils constituent donc un secteur concurrentiel à étudier de près.

Concernant les clients, il s'agit des agriculteurs : nous utiliserons les rencontres effectuées pour estimer leur pouvoir de négociation dans ce projet.

L'analyse des forces de Porter se limite à un rayon de 50 km autour de Puylaurens. C'est le rayon, selon nous, maximal pour des mouvements de matières organiques et minérales. Au cas où des données aussi précises manqueraient, nous nous contenterons des résultats disponibles à l'échelle d'Arterris.

Cette analyse permettra de proposer un prix de vente des digestats ; position qu'il s'agira ensuite de soutenir par un développement marketing ; comme pour tout produit commercialisé.

2. Produits de substitution : composts et engrais minéraux

2.1 Les engrais minéraux au sein d'Arterris

L'offre en engrais est parfaitement développée chez Arterris, c'est même un rôle historique des coopératives. Cette offre est relayée auprès des adhérents par le silo auquel ils sont rattachés et par le technicien de terrain qui les suit. Des opérations de « phoning » sont aussi organisées à l'occasion d'offres promotionnelles. Dans notre secteur, le silo de Puylaurens et son technicien de terrain, Mr Dubac, en sont les agents de diffusion majeurs.

L'offre en engrais minéraux est locale, mais les prix sont mondiaux et fluctuants ; on l'a vu. Fin juillet 2009, la valeur des engrais minéraux (Tableau 17) a été recueillie auprès du service Approvisionnement d'Arterris. A titre indicatif, nous rappelons le tarif de mars 2009 (début du stage) ; il confirme la variabilité du marché mondial.

(€/unité ou €/kg)	Mars 2009	Juillet 2009
N (base Ammonitrate Bigbag 600 kg)	0.79	**0. 62**
P (base superphosphate P45%)	1.08	**0. 58**
K (base Chlorure de Potassium K60%)	0.99	**0. 87**

Tableau 17 : Prix de marché des unités NPK minérales (source : Arterris)

L'avantage de ce secteur est que les coûts liés à la gestion de l'engrais sont faibles : les big-bags sont faciles à stocker, les épandeurs à engrais sont la propriété de chaque agriculteur et les coûts d'épandage sont faibles, de l'ordre de 15€/ha (source : ETA Latche).

Le point faible de ce secteur est d'abord l'instabilité de ses prix et de son approvisionnement. Ensuite, la réglementation risque de pénaliser la production d'engrais de par les fortes émissions en GES et consommation d'énergie non-renouvelable (cf. Annexe 3) qu'elle génère.

2.2 Le marché des composts dans le bassin Arterris

Le travail effectué en collaboration avec l'IEP [de Roquefeuil et al., 2009] est une étude ciblée du marché des composts au sein du bassin de collecte Arterris : nous ne pouvons que l'exploiter ! L'offre existante de composts a été estimée par contact avec les principales plates-formes de la région (cf. Tableau 7 de l'Annexe 10). Notons que les plates-formes que nous avions identifiées sur le territoire (cf. Figure 13 de l'Annexe 10) ne sont pas toutes représentées ici. Il manque notamment la plate-forme de Castelnaudary ou celle de Revel qui se situaient à moins de 40 km de Castelnaudary et Puylaurens. On peut néanmoins supposer qu'elles sont de petite taille ; les unités produisant moins de 1000 t ne figurant pas dans cette étude. Ce diagnostic fait état d'une codominance entre composts de déchets verts (45%) et composts de boues (55%). Les données régionales [Ademe LGR, 2007] indiquaient aussi une dominance des composts de boues dans les zones de grandes cultures. On suppose donc que sur notre territoire, il y a aussi coprésence de composts de boues et de déchets verts.

Le travail a conclu qu'il était intéressant pour Arterris de s'investir dans le secteur des composts. Dès lors, Arterris a créé une activité d'achat/vente de composts, en se fournissant auprès des plates-formes recensées pour les revendre aux adhérents Arterris.

L'originalité de cette offre est que les deux composts ne sont pas distingués : l'agriculteur se verra livrer (en connaissance de cause!) le compost qui est produit par la plate-

forme contractualisée la plus proche de chez lui, à un prix fixe. Le projet privilégie donc la question logistique à la question agronomique. L'épandage est sous-traité aux ETA du territoire, dont Mr Latche que nous avons rencontré. **Le prix final atteint en moyenne 21.24 € HT/t**, réparti comme suit (Tableau 18) :

Composante du prix	Coût HT	TVA	TTC
Compost	4,8	5,5 %	5,06
Transport	5,9	19,6 %	7,06
Epandage	7	19,6 %	8,37
Coût Total	17,7		20,49
Marge de 20%	3,54		4,1
Prix facturé	21,24		24,59

Tableau 18 : Décomposition du prix des composts Arterris (source : De Roquefeuil et al., 2009)

On constate que la logistique (épandage + transport) coûte 2.5 fois plus cher que le compost lui-même, d'où **la primauté de la question logistique dans ce type de projet**.

La première campagne de vente a eu un grand succès : les 3000 tonnes de composts proposées ont été rapidement écoulées aux environs de Toulouse. Cette zone géographique avait été choisie à cause de l'engagement dans le projet des techniciens de terrain en place. Vu ce succès, Arterris envisage désormais d'accroître progressivement cette vente à tout le territoire : il y aura donc bien concurrence avec nos digestats.

Ce secteur concurrentiel a ses forces et ses faiblesses. Sa force principale est le faible coût d'investissement qu'il requiert : on s'appuie sur des structures en place, qui ont de l'expérience (Arterris, ETA). De plus, la production de compost est encouragée au niveau national. Mais il a deux faiblesses notables :

- Le compost n'est pas fabriqué par Arterris même, qui n'en maîtrise donc pas la qualité. Cela dit, la présence d'ETM dans les composts n'est pas vraiment un obstacle à l'engagement des agriculteurs selon Mr Latche puisqu'on fait confiance à la norme NF U-44 095.
- Aucune infrastructure de stockage n'est prévue par Arterris ; le compost devra être stocké chez l'agriculteur. De plus, le fournisseur initial peut perturber la régularité de l'offre. Il existe donc une marge de progrès dans la qualité de ce service.

2.3 Conclusion sur la concurrence des produits de substitution

La menace de substitution est forte car elle émane d'Arterris même, donc utilise les acteurs que nous prévoyons d'impliquer : techniciens de terrain pour le conseil, ETA pour l'épandage et entreprises de transport locales (dont OTE, filiale d'Arterris). En conséquence, nous aurons du mal à améliorer le service de fourniture de digestat par rapport à celui des engrais minéraux. Le service compost peut quant à lui être amélioré.

La compétitivité des digestats passera donc par un prix attractif et/ou une mise en valeur de la qualité des digestats et/ou par une amélioration du service proposé (prise en charge du plan d'épandage, des unités de stockage, etc.).

3. Définition des prix des digestats en fonction de la concurrence

3.1 Hypothèses de calcul et détermination du prix de l'humus

Nous avons mis en parallèle les compositions des quatre produis comparés (digestats, amendements Arterris et engrais minéraux) et les prix qui leur sont aujourd'hui associés (Tableau 19). La diversité des engrais minéraux est telle que nous rappellerons juste leur prix par unité d'élément (en vert). Il semble tout de même intéressant d'afficher l'engrais de type 0-18-18 dans ce tableau. En effet, c'est un engrais de fond (PK), celui que les agriculteurs substituent en premier par du compost.

Pour pouvoir comparer les trois matières, nous calculons leur « valeur N ou PK » c'est-à-dire le prix de l'engrais minéral qui aurait la même composition. Nous distinguons le *prix* (chiffre effectif sur le marché) de la *valeur* (chiffre estimé d'après nos calculs, qui n'existe pas sur le marché). Le calcul de valeur porte sur une tonne de chaque matière, unité de référence des composts. Le prix final des digestats est la seule inconnue de ce tableau.

Concernant le transport, le transport du DS est équivalent à un transport de compost : nous considérons que nous pouvons obtenir les mêmes prix. Pour le liquide, il s'agit d'une nouvelle activité que nous n'avons pas chiffré : nous prenons les références de Solagro, soit 0.8 €/km. Concernant l'épandage, le même raisonnement que pour le transport s'applique au DS. Pour le liquide, faute d'avoir choisi un matériel parmi les trois proposés, nous prenons un prix moyen de 3€, aussi estimé par Solagro. Dans le cas des engrais minéraux, Mr Latche facture la prestation à 15€/ha. Sachant que l'engrais 0-18-18 est épandu à environ 375 kg/ha, on en déduit le coût de manutention d'une tonne de 0-18-18.

La demande en matière organique est en fait une demande en MO stable, c'est-à-dire en humus. Les valeurs présentes dans ce tableau sont issues de celles du Tableau 6. Nous prenons une valeur moyenne de 24% pour les deux composts.

	Réf. minéral €/kg	0-18-18 kg/t MB	NF U-44 051 kg/t MB	NFU-44 095 kg/t MB	D solide kg/t MB	D liquide kg/t MB
Humus	?	0	240	240	225	40
Azote minéral N	0,62	0	0,2	0,5	5,9	8
Phosphore P	0,58	180	6	15	7,6	1,1
Potassium K	0,87	180	9	8	4,2	5,7
PRIX MATIERE €/t :		310	4,8	4,8	?	?
PRIX TRANSPORT €/t :			7,06	7,06	7,06	0,8/km
PRIX EPANDAGE €/t :		40	8,37	8,37	8,37	3
PRIX TOTAL TTC €/t :		**350**	**24,59**	**24,59**	**?**	**?**
valeur ferti. PK €/t :		261	11,3	15,7	8,1	5,6
valeur ferti. Nmin €/t :		0	0,1	0,3	3,7	5
prix matière/valeur ferti. PK % :		119	42	31		
prix total/valeur ferti PK % :		134	217	157		

Tableau 19 : Comparaison prix/valeur des matières en concurrence sur le marché (source : M Etchart)

Le calcul des rapports prix-valeur fertilisante ne peut se faire qu'en pourcentage et non en €/tonne. En effet, on n'épand pas les mêmes tonnages de 0-18-18 et de compost par hectare, et les coûts d'épandage sont proportionnels à cette dose (environ 375 kg de 0-18-18 contre 10 t de compost selon les résultats de l'enquête de l'IEP). Si l'on compare l'engrais 0-

18-18 aux composts, l'engrais est facturé à 134 % de sa valeur fertilisante PK alors que les composts le sont à 157 ou 217% : les agriculteurs ont donc intérêt à utiliser du 0-18-18 pour la fertilisation PK. Cependant, les composts sont choisis car ils amènent aussi de la matière organique (contrairement au 0-18-18) donc la comparaison n'est pas complètement pertinente.

Si l'on compare les deux composts, on voit que le 44 -095 est plus riche en PK que le 44-051. Puisqu'ils sont vendus au même prix rendu racine (24,6 €) et apportent le même taux de MO, le compost 095 est donc un fertilisant plus avantageux. Objectivement, il est donc aussi sous-valorisé par Arterris mais aussi par les plates-formes fournisseuses (cf. Annexe 10) ; certainement à cause de la mauvaise image qu'il véhicule encore (innocuité, ETM, etc.). Mais le compost de déchet vert est aussi sous-valorisé puisque le prix matière facturé ne représente que 42% de sa valeur fertilisante PK (sans même compter la matière organique). Ainsi, l'innocuité ne suffit pas à expliquer cette tendance.

Lors de la construction de ce tableau, une question s'est posée : quelle valeur donner à la matière organique humifiée ? En effet, ses mérites sont souvent ventés mais il n'existe pas sur le marché de produit ciblé « humus » uniquement, que l'on pourrait prendre comme référence. On peut estimer sa valeur, grâce à ce tableau comparatif, à partir de deux approches :

- On met en parallèle le prix total (incluant la manutention) des engrais minéraux et des composts de déchet vert. L'agriculteur surpaie le prix des fertilisants PK composts par rapport aux mêmes fertilisants minéraux : 217% du prix final pour le compost de déchet vert contre 134% pour le 0-18-18. Si l'on suppose que l'agriculteur choisit sciemment le compost, c'est qu'il y trouve un avantage autre que le PK : la valeur de l'humus (puisque le produit ne contient rien d'autre). Dans ce cas,
  *prix PK rationnel = 134% de sa valeur (référence engrais minéral)
  *le compost, qui a une valeur PK de 11.3 €, ne peut avoir un prix total supérieur à 15.14 €
  *le prix total accepté par l'agriculteur étant de 21.24€ (prix HT, Tableau 18), cela suppose qu'il estime **l'humus à plus de 6.1 €/tonne.**

- Le même raisonnement conduit avec le prix matière (sans coûts de manutention) engrais minéral/compost de déchet vert conclut à une **valeur négative de l'humus**…

Le client n'est sûrement pas aussi rationnel que nous, mais on peut supposer qu'il raisonne en terme de coût global (rendu racine). En effet, les prestataires de service proposent majoritairement des prix rendu racine à l'hectare, sans décomposer le prix comme nous le faisons. Nous décidons donc de fixer le prix de la matière organique à 7 €/tonne de compost de déchet vert (qui contient 24 % d'humus), **soit 29 €/tonne d'humus.**

3.2 Prix à donner au digestat solide

Nous avons deux positionnements possibles sur la valeur du produit digestat :

- *si l'on considère que le DS est un fertilisant minéral + de l'humus,* on applique les tarifs mondiaux au P et au K et la valeur estimée à l'humus.
- *si l'on considère que le DS est un compost + une valeur azotée minérale*, on applique le tarif standard « 4.8 €/t » au PK (tarif, on l'a vu, indépendant de la composition précise de la matière), et les tarifs mondiaux à son azote minéral.

D'après les résultats du paragraphe précédent, voilà le prix de notre digestat solide (Tableau 20) :

POSITIONNEMENT CHOISI :	Fertilisant PK + humus		Compost + Nmin	
Composante du prix :	Coût HT (€/t)	Coût TTC (€/t)	Coût HT (€/t)	Coût TTC (€/t)
Digestat (TVA 5,5%) :	14,6	15,4	8,5	8,9
Transport (TVA 19,6%) :	5,9	7,1	5.9	7,1
Epandage (TVA 19,6%) :	7	8,7	7	8,7
COUT TOTAL :	27,5	31,1	15,5	24,6
Marge de 10% :	2,7	3,1	1,5	2,5
PRIX FACTURE :	**30,2**	**34,2**	**17**	**27,1**

Tableau 20 : Commercialisation du digestat solide (source : M Etchart)

Le digestat vaudra donc **environ 17 €/t ou environ 30.2 €/t**. Environ, car la marge prise est ici de 10%, contre 20% pour le compost Arterris (cf. Tableau 18). Cette marge pourra être modifiée par la qualité du service proposé et la stratégie de méthanisation globale adoptée.

La différence entre les deux statuts est donc grande, et pour cause : **le prix final des composts est sous-estimé au niveau du prix matière** : on les facture 4.8 € alors qu'ils valent déjà de 11.3 à 15.7 € en tant que fertilisant PK.

De plus, cette sous-estimation n'aurait pas lieu d'être puisque d'après la bibliographie, le coefficient d'équivalence engrais du phosphore et du potassium est égal à 1. Cette sous-estimation s'explique encore moins pour les composts de déchets verts qui jouissent d'une bonne image.

La justification est à rechercher du côté des fournisseurs, les plates-formes de compostage. Ces dernières ont pour rôle principal le traitement des déchets et non la production de compost ; elles sont rémunérées par les collectivités pour transformer leurs déchets. C'est d'ailleurs ce type de prestation de service que le méthaniseur souhaite aussi offrir. Le tarif de traitement des déchets varie entre 15 et 35€/t [de Roquefeuil et al., 2009] ; c'est ce qui finance les plates-formes, sachant aussi que le tonnage de déchets en entrée est supérieur au volume du compost final. La vente de composts n'est donc qu'une source complémentaire de revenu. De plus, leur stockage étant contraignant pour ces plates-formes, elles ont tendance à baisser encore les prix pour accélérer leur évacuation. Ce fonctionnement des plates-formes est donc principalement à l'origine des écarts constatés.

En tout cas, même le secteur des composts « casse les prix », sa concurrence est bien réelle et il faut en tenir compte. Le développement marketing conditionnera le positionnement du DS adopté, donc son prix.

3.2 Digestat liquide : prix positif ?

Nous appliquons le même schéma qu'au digestat solide (Tableau 21). Toutefois, un seul positionnement du produit est possible : vu sa faible teneur en humus, il ne peut pas être considéré comme un compost amélioré.

Cette fois-ci, les coûts de manutention changent. Nous prenons une distance parcourue de 10km (soit 0.8*10 =8 €/t transportée), en accord avec le schéma Valorem.

POSITIONNEMENT CHOISI :	Fertilisant + humus	
Composante du prix :	Coût HT (€/t)	Coût TTC (€/t)
Digestat (TVA 5,5%)	6,8	7,1
Transport (TVA 19,6%)	8,0	9,6
Epandage (TVA 19,6%)	**3,0**	3,6
COUT TOTAL	17,8	20,3
Marge de 10%	1,8	2,0
PRIX FACTURE	**19,5**	**22,3**

Tableau 21 : Commercialisation du digestat liquide (source : M Etchart)

Cela revient donc à un produit à **19.5 €/tonne au minimum**. Au minimum car ce prix n'inclut pas les investissements qui sont ici nécessaires : nouveau(x) matériel(s) d'épandage, cuves de transport/stockage du liquide notamment. L'équipement d'épandage ombilical (rampe + tracteur) coûte 130 000 €. L'épandage nécessite aussi une benne amovible de stockage, transportable en semi-remorque et à déposer dans le champ pendant l'épandage (cf. Figure 22A de l'Annexe 18), qui coûte environ 20 000 € (source : Samat, fournisseur contacté par téléphone). Nous comptons amortir ces 150 000 € d'investissement sur 10 ans, et avec 11 000 m3 de DL/an. Cela augmente le prix du digestat de **1.36 €/m^3 ; soit un produit facturé 21 € HT/tonne au final.**

Or, d'après les résultats de la partie IV, la qualité du service « épandage liquide » est loin de celle de l'épandage des engrais minéraux. Pour réduire la facture de l'agriculteur et l'inciter à utiliser ce produit, il faut donc réduire la marge et/ou la valeur du digestat lui-même. **Sans prendre de marge et en offrant la matière, la logistique coûte déjà 12.4 € HT/tonne !** Les agriculteurs sont-il déjà prêts à payer 12.4 €/m^3 pour recevoir du digestat liquide ? Pas sûr.

4. Pouvoir de négociation des clients

La relation actuelle entre Valterris et les clients (agriculteurs) s'explique principalement par les faits suivants (Tableau 22) ; elle s'applique aussi au projet de Castelnaudary.

DECHETS ENTREE	Castelnaudary	Puylaurens
Tonnage global entrée	22 000 t	16 000 t
Part élevages	**70%**	**71%**

Tableau 22 : Part des éleveurs dans la fourniture de déchets en entrée (source : Valorem)

Les éleveurs sont, dans le dernier scénario envisagé, les principaux fournisseurs potentiels de déchets en entrée. Et pour que ce tonnage devienne effectif, **il faut convaincre les éleveurs sur la globalité du projet, notamment sur la partie digestat.** Pour ce faire, Valorem développe une méthode centrée sur la coopération Valterris - Eleveurs. Ainsi, la société n'impose aucun modèle de gestion préalable ; tout doit se décider au sein de groupes de travail thématiques. Le groupe de travail « digestat » que j'ai co-organisé en était un. Par ailleurs, Valorem envisage d'assurer tout investissement nécessaire au bon écoulement du digestat (plates-formes de stockage, matériel d'épandage), de prendre le plan d'épandage des agriculteurs fournisseurs en charge, de prendre en charge ou de sous-traiter les transports ferme-unité de méthanisation, etc.

Au fur et à mesure, les éleveurs contactés ont pris conscience de leur poids dans le projet, du fait que l'unité de méthanisation ne sera probablement pas viable sans leur

implication. **Tout cela conduit à une maximisation actuelle du pouvoir de négociation des clients ; ce qui met une pression supplémentaire sur la gestion des digestats.**

Arterris souhaiterait plutôt développer une offre commerciale et marketing classique, comme cela a été fait pour les composts. Néanmoins, la coopérative reste consciente que cette offre doit avantager les fournisseurs de déchets, c'est-à-dire les éleveurs. Il faudrait donc trouver un compromis entre les deux visions stratégiques, en proposant par exemple une offre commerciale distinguant un agriculteur fournisseur d'un agriculteur non-fournisseur.

Cette stratégie de prix des digestats devra rapidement être décidée. Il n'est pas trop tard : nous avons limité nos rencontres à 7-8 agriculteurs ; cette distorsion du pouvoir de négociation ne s'est pas généralisée. De plus, aucun agriculteur du secteur de Castelnaudary n'a encore été contacté.

5. Les atouts marketing des produits

Cette partie est en fait un résumé de tous les résultats obtenus précédemment. Différents aspects pourront être mis en avant ; ils sont représentés sur le schéma suivant (Figure 13).

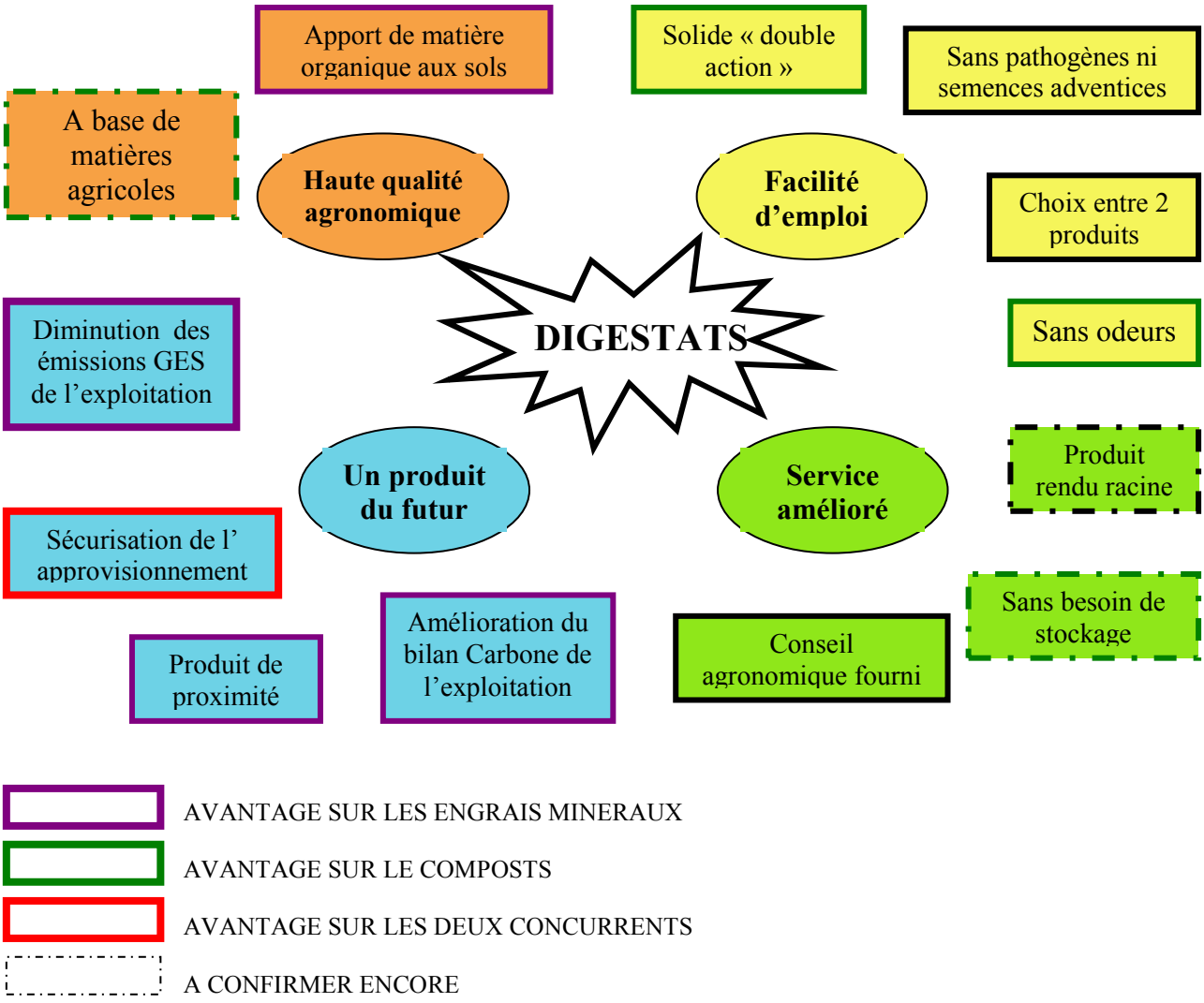


Figure 13 : Atouts marketing des digestats de méthanisation (source : M Etchart)

La variable prix n'apparaît pas dans cette représentation : on tentera dans un premier temps de cibler l'approche marketing sur les améliorations de service et de produit. Ce schéma devra être complété/précisé si la promotion des digestats est envisagée séparément.

Discussion des résultats et perspectives

1. Limites avérées de nos résultats

1.1 … en lien avec un projet en cours de développement

La principale limite de ces résultats provient de la validité même de la composition du digestat. En effet, à ce stade du projet, on est loin de pouvoir garantir que les effluents envisagés actuellement seront les effluents finaux du digesteur, autant dans leur composition que leurs quantités relatives. L'incertitude vient surtout du monde agricole et des éleveurs en particulier : ceux que l'on a rencontrés ne voient pas encore clairement leur intérêt à participer à ce projet territorial, alors qu'ils représentent plus de 70% des fournisseurs potentiels. Qui plus est, il est difficile d'anticiper l'évolution de ce bouquet en entrée, pour plusieurs raisons :

- Les agriculteurs rencontrés ne sont pas forcément représentatifs de l'ensemble du monde agricole local, même s'ils partagent le même métier. Notamment, ce sont les seuls qui ont pris le temps de se libérer pour venir assister à la réunion publique du 15 juin, alors même que tous avaient du travail en attente chez eux.
- Les données Arterris n'ont permis que de caractériser 50% du gisement agricole de Puylaurens
- Les conclusions du projet Metcico, partenariat Arterris-Arvalis-Institut du végétal sur les résidus de culture et cultures intermédiaires dédiées apporteront peut-être un nouveau gisement issu des Grandes Cultures

Restent tout de même valables les résultats intrinsèques au phénomène de digestion : propriétés d'innocuité, spécificité « double action » des digestats, dates d'apport optimales ou dilution de la valeur azotée du digestat liquide (car le réacteur est « infiniment mélangé »).

Pour le reste, à savoir volumes à apporter, périmètre du territoire à explorer, calcul des prix selon la valeur fertilisante et comparatif quantitatif avec les engrais/amendements existants ; nous sommes incapables de donner une fourchette d'erreur.

Il n'en faut pas moins retenir les procédés de calcul, les hypothèses faites pour y arriver ; afin de les reproduire sur ce projet ou sur d'autres.

Les résultats en termes de logistique, de flux de matière, sont peu approfondis. Nous avons par exemple supposé dans le calcul des prix que le digestat solide bénéficierait des mêmes avantages tarifaires que les composts. Il faudrait à l'avenir se rapprocher de la filiale de vente de composts d'Arterris pour unifier cette question logistique, et ne pas faire appel aux mêmes intermédiaires chacun de son côté. En discutant avec les personnes concernées, cette option apparaît tout à fait envisageable ; il faut désormais la chiffrer. Cela ne pourra se faire qu'après la fin de la phase de diagnostic du projet.

Pour le liquide, la composante de transport unité-chantier d'épandage n'a été qu'effleurée. En effet, n'ayant pas trouvé de réel débouché pour cette matière, il nous a semblé superflu d'approfondir cette question. Elle devra le rester jusqu'à ce qu'une nouvelle piste sérieuse de valorisation/gestion soit décelée.

Par ailleurs, le raisonnement n'a été mené d'un bout à l'autre que sur le territoire de Puylaurens, car le projet y progressait plus vite donc fournissait plus de données. Le territoire de Castelnaudary n'est pas pour autant passé aux oubliettes, bien au contraire. La rencontre en juillet de briquetiers locaux prêts à signer l'achat de la totalité du biogaz produit par nos unités ravive l'intérêt porté à ce territoire ; les considérations agricoles suivront.

1.2 … en lien avec un projet novateur

Certaines conclusions n'ont pu être apportées car le digestat est entouré d'un vide juridique ou quasiment. Ce qui est certain, c'est que les avantages intrinsèques à la digestion ne sont pas reconnus par la réglementation. Il y a à mon sens un fort potentiel d'évolution dans ce domaine ; ce qui aurait des conséquences sur l'utilisation du digestat. Un exemple : le digestat dans les zones vulnérables est compté dans les 170 kg d'azote épandables au maximum, contrairement aux composts, produits normés. Ainsi, bien que nous le recommandions, la fertilisation totale du maïs ne peut pas être assurée par le digestat seul car cela nécessite en moyenne 200 kg d'azote à l'hectare. Un autre exemple : la désodorisation du digestat devrait permettre de réduire les distances à respecter vis-à vis du voisinage, donc augmenter la surface d'épandage totale.

Cette question mériterait à l'avenir d'être plus approfondie via une prise de contact avec les autorités compétentes, en attendant une évolution générale de la règlementation.

On a aussi signalé à plusieurs reprises dans ce travail que des essais agronomiques seraient souhaitables avant de conclure. Cela concerne notamment les risques de perte azotée lors de l'épandage. Arterris dispose de deux fermes expérimentales qui auraient les compétences pour mener ce type de travail. Toutefois, on se trouve là face à un « serpent qui se mord la queue » : nous avons besoin dans le projet de résultats qui n'aboutiraient qu'à l'issue de son lancement! La solution consisterait à établir des partenariats avec les projets territoriaux lancés en France (TIPER en Vendée, Naskéo à Bressonville, Géotexia en Bretagne ou Passel dans le Nord) pour construire un référentiel national en matière de méthanisation partagée.

2. Bilan « digestat-dépendant »

L'objectif de ce travail était de proposer des pistes de gestion et de valorisation des digestats de méthanisation territoriale au sein des projets nouvellement lancés avec l'entreprise Valorem. Dans les faits, cet objectif s'est dédoublé car nous avons deux produits à gérer au lieu d'un.

Concernant le digestat solide, nous retiendrons la piste de la valorisation car ces produits ont une valeur ajoutée indéniable, qui peut être défendue sur le marché des matières organiques. A partir des pistes fournies, il faudra par la suite développer une offre marketing dans les règles de l'art ; le service Approvisionnement d'Arterris en a l'habitude. Il est surtout important que ce digestat solide ne soit pas utilisé comme les composts et fumiers habituels, sans quoi il perdrait une partie de son intérêt agronomique, mais aussi économique et environnemental car l'azote perdu est un manque à gagner pour l'agriculteur.

Concernant le digestat liquide, notre travail conclut que sa valorisation paraît difficile sur les territoires de Puylaurens et Castelnaudary et qu'il faudrait se rabattre sur une gestion (sans valeur ajoutée) de ce liquide. Ainsi, nous ne répondons pas à l'objectif de la coopérative qui était de trouver des substituts aux engrais minéraux actuels.

Toutefois, la piste de la valorisation peut -et doit- mieux être explorée. Au cours de ces six mois, nous nous somme focalisés sur la valorisation sur grandes cultures, ce qui ne semble pas être adapté à ce territoire mais qui peut l'être ailleurs ; notamment dans les zones où l'irrigation et la ferti-irrigation (fertilisation et irrigation concomitantes) sont généralisées. Un liquide doit dans tous les cas trouver des débouchés dans un rayon de 10 km. Dans notre territoire, il faudra se concentrer sur des activités à première vue anecdotiques : le maraîchage, les cultures sous serre, les cultures énergétiques ou les prairies de fauche intensives.

Une alternative radicale mais idéale pour la problématique digestat serait un changement du type de digestion, c'est-à-dire le passage d'une méthanisation « infiniment mélangé » à une méthanisation en voie sèche. Dans ce cas, nous ne traiterions que des déchets solides et obtiendrions donc uniquement une phase solide. Ce process, principalement développé pour la méthanisation des ordures ménagères, présente peu d'expérience dans le secteur agricole (Trame, 2007). Il est donc peut-être un peu tôt pour l'envisager sur notre territoire. Néanmoins, Valorem réfléchit déjà à cette question. Ils envisagent notamment de recueillir la matière sèche des lisiers non pas dans le digesteur mais dès la collecte, dans l'exploitation, par une filtration. Ce serait donc une séparation de phases en amont qui permettrait une valorisation séparée des phases solide et liquide *du lisier* cette fois-ci. Le transport de liquide ne serait plus une question à se poser.

3. Le futur du projet de Puylaurens

3.1 Une remise au point en interne

Comme mentionné dans la partie V, il est nécessaire à ce stade du projet de refaire un point en interne et de remettre les enjeux de chaque acteur concernant le digestat à plat. Cela doit précéder toute utilisation ou réactualisation du travail présent.
La mise au point devra porter sur les points suivant :

- définir quelle est la part du budget global disponible pour un investissement dans la logistique d'épandage (plates-formes, cuves, matériels,..), voir ce qu'on peut/ ne peut pas proposer aux agriculteurs de ce point de vue là
- définir quels sont les objectifs de valorisation de la matière, quelle valeur ajoutée on veut lui adjoindre.
- comment effectuer la distinction fournisseur/non fournisseur

A partir de là, on pourra dresser un schéma de gestion global et le proposer aux agriculteurs. C'est, selon moi, à ce prix là que le projet saura être convaincant.

Au niveau du projet global, il est de toute façon prévu de faire un point avant la fin de l'année pour décider si le projet de Puylaurens est viable ou non. En effet, nous rencontrons aussi dans ce territoire des difficultés à valoriser localement la chaleur de cogénération… Le cas échéant, les procédures seront stoppées ; la volonté politique locale ne faisant pas tout.

3.2 Impulsion nationale de la méthanisation territoriale?

3.2.1 La méthanisation dans le contexte énergétique et environnemental

Le POPE (Programme fixant les Orientations de la Politique Energétique) est une loi du 13 juillet 2005 fixant les orientations énergétiques nationales et européennes :

- Diminution des émissions de GES par rapport à 1990 de 3% par an en France
- Diversification des sources d'approvisionnement énergétiques d'ici 2010, avec un objectif de 10% de couverture des besoins par les énergies renouvelables ou 21% de l'énergie électrique consommée produite à partir d'une source renouvelable, avec une production en 2008 de respectivement 6 et 13%.
- Elaboration du plan « Terre-Energie » visant l'économie d'au moins un million de Tonnes Equivalent Pétrole d'ici 2010, par l'utilisation de biomasse dans les productions de chaleur et de carburant
- Développement de la filière de recyclage et de valorisation des déchets. La Directive Décharge 1999/31/CE du 26 avril 1999 prévoit que la quantité de déchets

biodégradables enfouis en 2016 soit égale à moins de 35% des tonnages enfouis en 1995.

La méthanisation est bien l'une des réponses à ces enjeux, car cette technique :

- Contribue à la diminution des gaz à effet de serre : le méthane est 21 fois plus nocif que le dioxyde de carbone.
- Produit de l'énergie renouvelable (biogaz) utilisable par les particuliers, sous forme de biogaz ou après cogénération (production d'électricité et de chaleur)
- Est une voie de production de chaleur voire de carburant n'utilisant pas de pétrole
- Utilise des déchets qui auraient dû être mis en décharge ou incinérés

Dès lors, **les acteurs de la filière souhaitent désormais un engagement plus fort des pouvoirs publics.** Ils réclament une aide à l'investissement, une obligation d'achat du biogaz (comme c'est le cas pour l'électricité actuellement), l'injection du gaz épuré dans le réseau et une exonération de la taxe générale sur les activités polluantes (TGAP). Chantal Jouanno, secrétaire d'Etat à l'Ecologie, a effectué une visite le 2 septembre dernier dans l'usine de méthanisation d'ordures ménagères de Varennes-Jarcy. Elle a déclaré que la valorisation de la biomasse constituait l'un des objectifs du Grenelle de l'environnement en matière d'énergie, et qu'à ce titre :

- Il est prévu de créer une rubrique dédiée à la méthanisation dans la réglementation des ICPE, qui serait plus adaptée aux enjeux de la filière.
- Le Fond Chaleur, enveloppe d'un milliard d'euros confiée à l'Ademe sur la période 2009-2011, a été mis en place. Il a pour objectif de développer la production de chaleur à partir des énergies renouvelables : biomasse (dont la méthanisation) mais aussi géothermie ou solaire thermique. Il est destiné à soutenir l'investissement des collectivités et de toutes les entreprises (agriculture, industrie et tertiaire).
- « Nous sommes ouverts à une concertation sur la question du tarif de rachat du biogaz. ».

L'avancée de la filière méthanisation se fait donc prudemment au niveau national. La secrétaire d'état souhaite la faire progresser, mais en se basant du retour d'expérience des installations en place.

3.2.2 PNAQ et projets domestiques

Entré en vigueur au 1er janvier 2005, le système d'échanges de quotas de l'union européenne a pour objectif de réduire de 8% les émissions de CO_2 d'ici à fin 2012, conformément au protocole de Kyoto. En vertu du principe de partage de la charge, cet objectif est réparti entre les 15 États membres et peut être négatif (-21% pour l'Allemagne), nul (0% pour la France) ou positif (+15% pour l'Espagne). À partir de là, chaque état a donc défini son plan d'allocation des quotas (PNAQ) précisant les quantités maximales de CO_2 que peuvent rejeter les entreprise appartenant au secteur de l'énergie, de l'industrie manufacturière (fonte/acier, verre/céramique/chaux/tuiles/ciment, pâte/papier/carton) et des services publics (hôpitaux, écoles, universités).

En 2005, ces entreprises se sont vu attribuer gratuitement un quota de x tonnes de CO_2. Les entreprises qui réussissent à réduire leurs émissions peuvent revendre les quotas non utilisés et à l'inverse, les entreprises dépassant leur quota doivent en racheter, sous peine de sanctions financières. Un marché européen du carbone s'est ainsi mis en place. L'objectif consistait clairement à inciter les industries dans les secteurs de l'énergie, du papier, ou du ciment par exemple à investir dans des technologies propres en donnant un prix aux émissions de CO_2.

Pour la première période de fonctionnement (2005-2007), cet outil a connu un bilan mitigé. Sur le plan environnemental, les résultats ont été positifs puisque globalement l'Europe a réduit ses émissions de CO_2. Toutefois, les états membres ont été trop généreux lors de l'attribution de leurs quotas, de sorte que le cours de la tonne de CO_2 sur le marché du carbone s'est effondré fin 2006 (passé de 30 € la tonne à 1€). Il était alors plus intéressant pour les entreprises d'acheter des quotas que d'investir dans des nouvelles énergies.

La Commission a donc imposé aux Etats membres des restrictions plus sévères dans les plans de la deuxième période (2008-2012), diminuant les quotas globaux de 8%. Dans notre territoire par exemple, la briqueterie Terreal a vu ses quotas évoluer de la manière suivante :

	QUOTAS ATTRIBUES (t CO_2/an)		
Localisation usines :	**2005-2007**	**2008-2012**	**EVOLUTION (%)**
Castelnaudary (11)	16964	14859	**-12,4**
St Martin Lalande (11)	14287	20261 (extension)	**41,8**
La Bastide d'Anjou (11)	20670	19135	**-7,4**
Lasbordes (11)	21854	18910	**-13,5**

Tableau 23 : Exemple de changement de PNAQ pour une entreprise locale (source : textes loi)

Après 2012, les entreprises concernées s'attendent à une réduction encore supérieure des quotas qui leur seront attribués et recherchent des alternatives à l'émission de CO2. C'est pourquoi les briqueteries s'intéressent par exemple au biogaz, en alternative du gaz naturel qu'elles utilisent pour cuire et sécher leurs produits.

Par ailleurs, l'Arrêté du 2 mars 2007 met en place le dispositif des « projets domestiques ». Le principe est le même que pour le PNAQ, sauf que cela repose sur du volontariat et concerne les secteurs économiques non couverts par le système européen d'échange des quotas de CO_2, à savoir l'agriculture, le transport, le traitement des déchets, le bâtiment…Ce nouvel instrument financier est donc complémentaire au système européen d'échange des quotas, qui ne couvre que 25 % des émissions en France. Les entreprises engagées dans un programme de réduction de CO_2 vont se voir attribuer des URE (Unité de Réduction d'Emissions, équivalents des Quotas Carbone), qu'elles pourront vendre.

La méthanisation est l'un des projets éligibles. Cependant, les URE sont attribués dans des cas particuliers. Par exemple, seul le méthane issu des effluents d'élevage donne droit à des URE ; pas les autres déchets. D'autre part, la diminution de CO_2 induite par la production de bio-électricité ne donne droit à des URE que si le projet ne bénéficie pas d'obligation d'achat d'électricité, ce qui est très rare… Ainsi, avec une tonne de CO_2 évaluée à 15 € et très instable, cette opportunité ne modifie pas aujourd'hui la donne pour les installations de méthanisation collective.

Il faudra donc suivre attentivement l'évolution du PNAQ et dans une moindre mesure des projets domestiques, qui conditionnera en partie l'attrait exercé par les unités de méthanisation sur les territoires, donc leur rentabilité.

Ainsi, plus le projet global sera rentable, moins la question de la valorisation économique du digestat sera un point de tension.

Conclusion générale

La coopérative Arterris souhaite développer des unités de méthanisation sur son territoire, en commençant par le projet politiquement soutenu de Puylaurens, puis celui de Castelnaudary. Cette opération présente un double intérêt : la coopérative devient productrice d'énergie renouvelable et de digestats, matières organiques pouvant *a priori* se substituer aux engrais minéraux.

Le digestat, peu répandu en France, est entouré d'un flou juridique. Ainsi, malgré ses propriétés sanitaires proches de celles des composts, il reste un déchet organique, qu'il faudra donc épandre ou détruire. L'épandage est la voie que nous avons privilégiée et à juste titre : les besoins des territoires en matière organique, azote et dans une moindre mesure en phosphore et potassium dépassent largement l'offre des digesteurs individuels. Pour mieux valoriser cette matière peu abondante, nous décidons d'optimiser sa valeur fertilisante azotée. Or, les deux digestats contiennent en quantité non négligeable de l'azote uniquement sous forme ammoniacale. Cela exige une gestion rigoureuse de l'épandage de ces matières : apport au plus près des stades-clé de croissance des céréales étudiées et enfouissement subséquent.

Malheureusement, la méthode préconisée ne se fond pas dans les pratiques de fertilisation actuelles, bien au contraire : elle nécessite un changement de date d'apport pour le digestat solide ; de date et de matériel pour le liquide. Il y a donc perturbation des habitudes et du calendrier des agriculteurs.

La composition en éléments fertilisants et en matière organique du digestat solide devrait suffire à réorienter les pratiques actuelles vers un épandage de printemps sur cultures d'été, prioritairement sur maïs. Par contre, le digestat liquide, préconisé sur cultures d'hiver, est jugé trop contraignant en l'état pour être acceptable. Les alternatives de matériel proposées ne sont pas encore satisfaisantes. Il faudra donc à l'avenir envisager de nouvelles valorisations ou une simple gestion de la fraction liquide hors des Grandes Cultures.

Une meilleure acceptation de ces digestats peut aussi passer par un développement marketing mettant en avant les avantages de ces produits par rapport aux concurrents actuels (composts Arterris et engrais minéraux classiques) ; nous avons ébauché cette approche. Il faut maintenant que le partenariat Arterris-Valorem fixe une stratégie de prix et de services ; qu'il ira ensuite exposer de manière convaincante aux agriculteurs du territoire.

Si l'on juge que le projet de Puylaurens mérite que l'on pousse les investigations plus loin, il faudra être attentif à l'évolution de la composition des digestats ; évolution qui conditionne le conseil agronomique accompagnant ces matières organiques.

En tous cas, le raisonnement conduit d'un bout à l'autre sur Puylaurens devrait permettre de faciliter les démarches de valorisation des digestats à Castelnaudary ; c'est aussi le but de ce travail.

L'environnement économico-politique de la méthanisation est en train d'évoluer, sans que l'on sache clairement si la direction prise nous est favorable ; du moins à l'échelle-temps des premiers projets Arterris. La coopérative a maintenant tout intérêt à *coopérer* avec d'autres installations de méthanisation collective françaises. Leur union aiderait à faire prendre conscience que ces projets, conformes aux enjeux énergétiques nationaux, ont encore des difficultés à assurer une rentabilité sur plus de quinze ans.

Ressources bibliographiques

Articles scientifiques

📖 **ADANI F. et al. ; 2009**. Is digestate a nitrogen fertilizer ? 16th Nitrogen Workshop « Connecting different scales of N use in agriculture », Italie, juillet 2009. pp 347-348.

📖 **HOUOT S. et al.** Valeur agronomique et impacts environnementaux de composts d'origine urbaine : variation avec la nature du compost. *Dossier de l'environnement de l'INRA n°25 :* pp 107-124.

📖 **JENSEN L.S. et al. ; 2008**. Utilization of separated animal manure bio-solids: opportunities for improved nutrient cycling and reduced environmental impact, with Denmark as an example. Colloque international CODIS « Compost and digestate : sustainability, benefits, impacts for the environment and for plant production », Suisse, fév. 2008. pp 51-52.

📖 **KUPPER T. ; 2008.** Organic pollutants in compost and digestate : occurrence, fate and impacts. Colloque international CODIS « Compost and digestate : sustainability, benefits, impacts for the environment and for plant production », Suisse, février 2008. pp 33-40.

📖 **MARY B., GUERIF J. ; 1994**. Intérêt et limites des modèles de prévision de l'évolution des matières organiques et de l'azote du sol. *Cahiers Agriculture 1994 ; 3* : pp 247-57.

📖 **PALM O. ; 2008**. The quality of liquid and solid digestate from biogas plants and its application in agriculture. Colloque ECN/ORBIT « The future for Anaerobic Digestion of Organic Waste in Europe », présentation n°20, 2 pages.

📖 **RAVEN R.P.J.M, GREGERSEN K.H ; 2004**. Biogas plants in Denmark : successes and setbacks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *2005* : pp 1-18.

📖 **ROCHETTE P. ; 2008**. Gestion des engrais minéraux et organiques : volatilisation de l'ammoniac. Colloque en agroenvironnement, Québec, novembre 2008. 7 pages.

📖 **ROUSSEL O., BOURMEAU E., WALTER CH. ; 2001**. Evaluation du déficit en matière organique des sols français et des besoins potentiels en amendements organiques. *Etude et Gestion des Sols, Volume 8,1*, *2001* : pp 65-81.

Ouvrages, extraits d'ouvrages et rapports de synthèse

📖 **ADEME Languedoc-Roussillon, Ecotechnologie ; 2007.** Evaluation des gisements et des débouchés des composts en Languedoc-Roussillon : Bilan 2006 –Prospective 2010. 48 pages.

📖 **AL SEADI T. ; mai 2000**. Danish Centralised Biogas Plants –Plant Descriptions. Bioenergy Department, University of Southern Denmark. 28 pages.

📖 **APESA ; 2007**. Méthanisation et production de biogaz – Etat de l'art. 34 pages.

📖 **BODET J.M, CARIOLLE M. ; 2001**. Modalités pratiques d'emploi des composts élaborés à partir de produits d'origine non agricole. Colloque Gemas-Comifer « 5èmes rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse de terre », Blois, novembre 2001.10 pages.

📖 **Chambre Régionale d'agriculture Midi-Pyrénées ; décembre 2003**. Bases agronomiques du raisonnement de la fertilisation azotée sur grandes cultures et prairies. 11 pages.

📖 **FEMENIAS A. et al. ; février 2008**. Evaluation des conditions de développement d'une filière de méthanisation « à la ferme » des effluents d'élevage. 67 pages.

📖 **Gaz de France, Ademe ; 2003**. Le marché de la méthanisation en France, hypothèses d'évolution à 5 et 10 ans – Synthèse. 11 pages.

📖 **LLORENS J.M., Groupe PK du Comifer ; 2001**. La méthode de raisonnement de la fertilisation PK, un outil pour l'agriculture. Colloque GEMAS-COMIFER « 5èmes rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse de terre, Blois, novembre 2001. 10 pages.

📖 **Office Fédéraux de l'Environnement (OFEN), l'énergie (OFEN) et de l'agriculture (OFAG) suisses ; 2007**. Compost et digestat en Suisse. 126 pages.

📖 **SCHVARTZ C., MULLER J. C., DECROUX J. ; 2005**. Guide de la fertilisation raisonnée. Ed : France Agricole. 414 pages.

📖 **SOLAGRO, Orgaterre ; décembre 2004**. La qualité agronomique des digestats, rapport final. 181 pages.

📖 **SOLAGRO ; mars 2007**. Synthèse 2006 des bilans PLANETE. Etude réalisée pour le compte de l'ADEME par SOLAGRO. 30 pages.

📖 **THIRION F., CHABOT F. ; 2003**. Epandage de boues résiduaires et effluents organiques. Matériels et pratiques. Ed : Cemagref, ISBN -10 2-85362-608-3. 192 pages.

📖 **TRAME, Biogaz Lorraine ; décembre 2007**. Synthèse de l'étude bibliographique sur la méthanisation en voie sèche.32 pages.

Mémoires et travaux d'étudiants

📖 **De ROQUEFEUIL J., LEPEULE C., MONTALEGRE B., NICOLETIS V. ; mars 2009**. Dossier de création d'entreprise. Projet d'ingénieur, Ecole d'Ingénieurs de Purpan. 100 pages.

📖 **DUTRY C. ; 2008**. Gestion et valorisation du digestat issu de méthanisation collective sur les territoires en forte pression azotée. Mémoire de fin d'études, Institut Lasalle-Beauvais. 110 pages.

📖 **PAUMARD T. ; 2008**. Etude des cinétiques de minéralisation nette de l'azote organique des produits résiduaires organiques à court terme in situ et en conditions contrôlées. Mémoire de fin d'études, ESA Angers. 101 pages.

Textes réglementaires

📖 **Arrêté du 7 février 2005** fixant les règles techniques auxquelles doivent satisfaire les élevages de bovins, de volaille ou gibiers à plumes et de porcs soumis à autorisation au titre du code de l'environnement. J.O du 31 mai 2005.

📖 **Arrêté du 25 février 2005** fixant la liste des exploitants auxquels sont affectés des quotas d'émission de gaz à effet de serre et le montant des quotas affectés pour la période 2005-2007. JO du 26 février 2005.

📖 **Arrêté du 2 mars 2007** pris pour l'application des articles 3 à 5 du décret no 2006-622 du 29 mai 2006 et relatif à l'agrément des activités de projet relevant des articles 6 et 12 du protocole de Kyoto.

📖 **Arrêté du 31 mai 2007** fixant la liste des exploitants auxquels sont affectés des quotas d'émission de gaz à effet de serre et le montant des quotas affectés pour la période 2008-2012. JO du 28 juin 2007.

📖 **Préfecture de l'Aude ; 2006**. Arrêté relatif au 3ème programme d'action à mettre en œuvre en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole. Application dans la zone vulnérable de la Piège.

📖 **Préfecture du Tarn ; 2009**. Arrêté relatif à la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole, 4ème programme d'action.

Ressource Internet

📖 **Association SOLAGRO:** www.solagro.org

📖 **Association Technique Energie Environnement:** www.biogaz.atee.fr/

📖 **Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie :** www2.ademe.fr

📖 **Association pour l'Environnement et la Sécurité en Aquitaine :** www.apesa.fr

📖 **Projet de méthanisation TIPER,** CC du Thouarsais **:** www.info-tiper.fr

📖 **Projet de méthanisation Géotexia,** Mené, Bretagne **:** www.geotexia.com

📖 **Gestion des fumiers/lisiers** : www.prairieswine.com/database/pdf/26.pdf

📖 **Base de données Agreste** : www.agreste.agriculture.gouv.fr

📖 **Magazine Paysan Breton**, Dossier : Fertilisation minérale et organique. www.paysan-breton.fr/article/8960/dossier- fertilisation-minerale-et-organique.html

📖 **Magazine Paysan Tarnais**, 28 mai 2009. Comprendre le 4ème programme « Directive nitrates » : www.paysantarnais.com

Table des annexes

ANNEXE 1 : LE SYSTÈME COOPÉRATIF 71

ANNEXE 2 : PRÉSENTATION DÉTAILLÉE D'ARTERRIS 73

ANNEXE 3 : DÉTAILS SUR LE MARCHÉ MONDIAL DES ENGRAIS 77

ANNEXE 4 : LA BIOLOGIE DE LA MÉTHANISATION 80

ANNEXE 5 : CLASSIFICATION ET DESCRIPTION DES UNITÉS DE MÉTHANISATION 82

ANNEXE 6 : AMONT ET AVAL D'UN MÉTHANISEUR, DEUX POINTS STRATÉGIQUES À MAITRISER 87

ANNEXE 7: SCHÉMA DE PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE 92

ANNEXE 8 : CALENDRIER D'UN PROJET DE MÉTHANISATION TERRITORIALE . 93

ANNEXE 9 : RAPPELS SUR LA DIRECTIVE NITRATES 94

ANNEXE 10 : IDENTIFICATION DES PLATES-FORMES DE COMPOSTAGE DANS LA ZONE D'ÉTUDE 98

ANNEXE 11 : IMPLANTATION D'ARTERRIS DANS LA ZONE D'ÉTUDE 100

ANNEXE 12 : CALENDRIER DE FERTILISATION AZOTÉE DES CULTURES EN ZONE NON-VULNÉRABLE 101

ANNEXE 13 : RÉSULTATS DES BESOINS EN FERTILISATION NPK 102

ANNEXE 14 : REPRÉSENTATION DES CULTURES MAJORITAIRES PAR CANTON AU SEIN D'ARTERRIS 105

ANNEXE 15 : RÉSULTATS DES ANALYSES DE SOL 106

ANNEXE 16 : ETA RENCONTRÉES DANS LA ZONE PUYLAURENS 108

ANNEXE 17 : PÉDOCLIMAT DU TERRITOIRE D'ÉTUDE 109

ANNEXE 18 : MATERIEL D'EPANDAGE DU DIGESTAT LIQUIDE 111

ANNEXE 19 : CONSULTATION DES ACTEURS DU TERRITOIRE 112

ANNEXE 1 : LE SYSTÈME COOPÉRATIF

1. Historique et principes fondateurs

C'est au début du 20ème siècle que les producteurs, encouragés par les pouvoirs publics, ont créé les coopératives pour organiser solidairement leur approvisionnement, leur production, et leur commercialisation.
Depuis 1945, l'expansion du système coopératif a été croissante, influencée par trois faits politiques majeurs :

- les lois d'orientation agricole de 1960 et 1962, sur l'organisation économique des producteurs,
- la loi de 1972 régissant le statut de la coopérative agricole
- les lois de 1991 et 92 organisant les modalités de la filialisation et renforcement des fonds propres des coopératives.

Cette entité juridique à part entière se base sur les principes de :

- Libre adhésion : les agriculteurs s'engagent de manière volontaire dans la structure et deviennent des « associés coopérateurs », appelés « adhérents » par abus de langage.
- Administration démocratique : les associés sont sur un pied d'égalité pour l'exercice du droit de vote et du point de vue des droits relatifs à la gestion de la société. Ils élisent des représentants parmi eux, qui siègent à différents conseils au sein de la coopérative.
- Acapitalisme : ce principe se traduit par la limitation de l'intérêt servi au capital (au taux moyen de rendement des obligations des sociétés privées), par le versement de dividendes aux associés proportionnellement aux opérations effectuées et par la disponibilité des réserves.
- Exclusivisme : les sociétés coopératives ne peuvent traiter d'opérations qu'avec leurs associés qui de leur côté ont l'obligation d'utiliser les services de la société coopérative. Ce dernier principe n'est plus vraiment d'actualité. En effet, les coopératives d'un même secteur se livrent une concurrence farouche au niveau des prix et de la qualité des services fournis. En conséquence, on voit bon nombre d'agriculteurs qui s'approvisionnent par le biais d'une certaine coopérative et revendent leur production à une autre.

L'organisation décisionnelle est aussi spécifique. Un conseil d'administration est mis en place, avec à sa tête le président de la coopérative. Ce conseil est composé uniquement d'agriculteurs élus par tous les associés coopérateurs. C'est ce conseil qui prend/ valide les grandes décisions d'orientation de la coopérative. Ces décisions sont mises en application/ soumise par le comité de direction, avec à sa tête le directeur général, salarié de la coopérative.

2. L'union fait de plus en plus la force

La coopérative fait écho au proverbe « l'union fait la force », force d'une structure représentée à plus grande échelle, qui peut avoir un poids sur les décisions agricoles nationales, européennes voire internationales. Force aussi en amont : les économies d'échelle augmentent les capacités de négociation du prix des intrants ainsi que la logistique attenante.

On compte aujourd'hui en France plus de 2500 coopératives agricoles, dont les 200 principales sont réunies au sein du groupe Coop de France. Ces dernières réalisent plus de 10 milliards d'euros de chiffre d'affaires. Avec leurs 25 000 salariés au service de plus de 300 000 adhérents, elles réceptionnent notamment 74 % de la collecte nationale française de grains (céréales, oléagineux et protéagineux).

La tendance nationale est au regroupement de coopératives, avec des grands groupes polyvalents comme Terrena dans le grand ouest, Maïsadour dans le sud-ouest ; et des coopératives plus spécialisées : Terreos pour l'activité sucrière, ou Sodiaal pour l'activité laitière dans le nord de la France.

ANNEXE 2 : PRÉSENTATION DÉTAILLÉE D'ARTERRIS

1. Une coopérative récente et polyvalente

1.1 Issue de la fusion de trois coopératives du sud de la France

Arterris est le résultat de la fusion conclue fin 2008 des coopératives Groupe Coopératif Occitan, la Toulousaine de céréales et Audecoop. Pour information, « Arterris » fait référence à l'art de la terre, mais aussi à « artère » ; la coopérative se voulant un vecteur de communication du territoire.

Voici les caractéristiques des entités ayant fusionné (Tableau 1) :

<table>
<tr><th></th><th>Toulousaine de Céréales</th><th>Audecoop</th><th>Groupe Coopératif Occitan</th></tr>
<tr><td>Nombre adhérents</td><td>4000</td><td>8000</td><td>8500</td></tr>
<tr><td>Départements principaux couverts</td><td>31, 82</td><td>11, 31, 34</td><td>09, 11, 31, 34, 66, 81, 82</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Métier spécifique</td><td>Meunerie</td><td colspan="2">Nutrition et productions animales
Production viticole
Multiplication de semences</td></tr>
<tr><td colspan="3">Magasin de distribution grand public</td></tr>
<tr><td>Siège social</td><td>Toulouse (31)</td><td>Bram (11)</td><td>Castelnaudary (11)</td></tr>
</table>

Tableau 1 : caractéristiques des entités ayant fusionné (source : Arterris)

La couverture départementale indiquée n'est pas exhaustive. L'influence d'une coopérative ne s'arrête évidemment pas aux limites des départements ; par exemple, la Toulousaine de Céréales était aussi présente dans le nord de l'Ariège, dans le sud du Tarn, dans l'est du Gers et dans la partie ouest de l'Aude. A l'inverse, plusieurs coopératives de différente ampleur sont encore présentes sur un même territoire ; les trois coopératives l'étaient en Haute-Garonne (31).

L'activité historique de la Toulousaine de Céréales est, comme son nom l'indique, l'agro-distribution (engrais, produits phytosanitaires, semences) et la collecte de céréales. Elle s'est diversifiée dans ce secteur, par la transformation de céréales en farines. Les deux autres qui regroupaient aussi des viticulteurs, arboriculteurs et éleveurs ont développé leurs compétences dans ces domaines. La diversification se traduit par la possession de filiales :

- spécialisées : Voléa pour la production de volailles, OTE pour la gestion des transports, les Fermiers Occitans pour la production transformation commercialisation de canards et lapins, Euravert pour les espaces verts, la Toulousaine des Farines …
- polyvalentes, ayant une activité similaire à celle d'Arterris : SICA Rouquet, Maisagri Tarn et Quercy, USSO (union coopérative stock sud ouest), Euramed, Coopami entre autres.

Cette diversification se traduit aussi par la création d'un réseau de magasins de libre-service sous les enseignes « Point Vert » et « Gamm Vert » pour le grand public rural et périurbain.

1.2 Une nouvelle coopérative polyvalente et réorganisée

La nouvelle coopérative est constituée de 15 000 adhérents. La coopérative emploie 670 salariés pour un chiffre d'affaires de 450 M€ ; le groupe (coopérative + filiales) Arterris emploie 1100 personnes et génère 600 M€.

La nouvelle polyvalence se traduit en chiffres :

- En cultures végétales : 220 000 ha de grandes cultures soit un million de tonne de collecte, 50 000 ha de vignoble, 6 000 ha en arboriculture, 1 000 ha en maraîchage et 15 000 de production de semences. La coopérative devient ainsi le premier producteur en France de blé dur, de tournesol et de sorgho ainsi que le premier multiplicateur de semences du sud de la France.
- En productions animales : 5 000 000 volailles de chair/an, 330 000 canards gras, 170 000 agneaux et 17 000 porcs charcutiers.

La polyvalence et les volumes brassés par la nouvelle coopérative ont nécessité une restructuration des activités en deux pôles : le pôle Grandes Cultures, basé à Toulouse, et le pôle Filières, basé à Bram. Le pôle Grandes Cultures est composé d'une équipe qui gère l'ensemble de la filière céréale :

- Approvisionnement en intrants, semences, produits phytosanitaires ; gestion des 120 dépôts-vente
- Contractualisation des productions de céréales des adhérents
- Commercialisation des collectes : un quart environ est destiné à une transformation interne (farines, aliment du bétail). Pour le reste, les récoltes vont vers le marché intérieur (46%), l'Espagne (27%) et les pays du bassin méditerranéen (27%). La proximité du Bassin méditerranéen est à ce titre un atout fort.
- Exploitation : organisation des flux de collecte et de stockage, gestion des 95 silos (dont 10 embranchés fer) et aspect qualité du grain.

Ce pôle génère environ 357 000 k€ de chiffre d'affaire par an. Il est suivi par 22 des 40 administrateurs qui composent le conseil d'administration d'Arterris.

Le pôle Filière est plus polyvalent puisque qu'il regroupe le restant des activités, à savoir :

- la distribution (24 magasins et matériel agricole), 185 000 k€/an
- la production animale (même schéma de filière que l'activité céréales) qui génère 121 000 k€ de CA/an
- les cultures pérennes (viticulture, arboriculture et maraîchage), 39 000 k€ de CA/an
- la multiplication et conditionnement des semences, 40 000 € de CA/an
- la transformation agroalimentaire

Au niveau du suivi, 18 administrateurs sont affectés à ce pôle et se rassemblent régulièrement en « comité de pôle ».

1.3 Un nouveau maillage du territoire

Bien que de nouvelle dimension, la coopérative veut et doit rester proche de l'adhérent. Géographiquement, cela se traduit par la conservation des points d'approvisionnement et de silos existants, par la continuité du suivi et des conseils fournis par les techniciens de terrain.

Pour rendre l'aller-retour terrain-pôles efficace, le territoire Arterris a été découpé en sept « régions », en respectant l'orientation des agriculteurs présents (Figure 1). Chaque région est animée par un chef de région (employé) et par des administrateurs du bassin (élus).

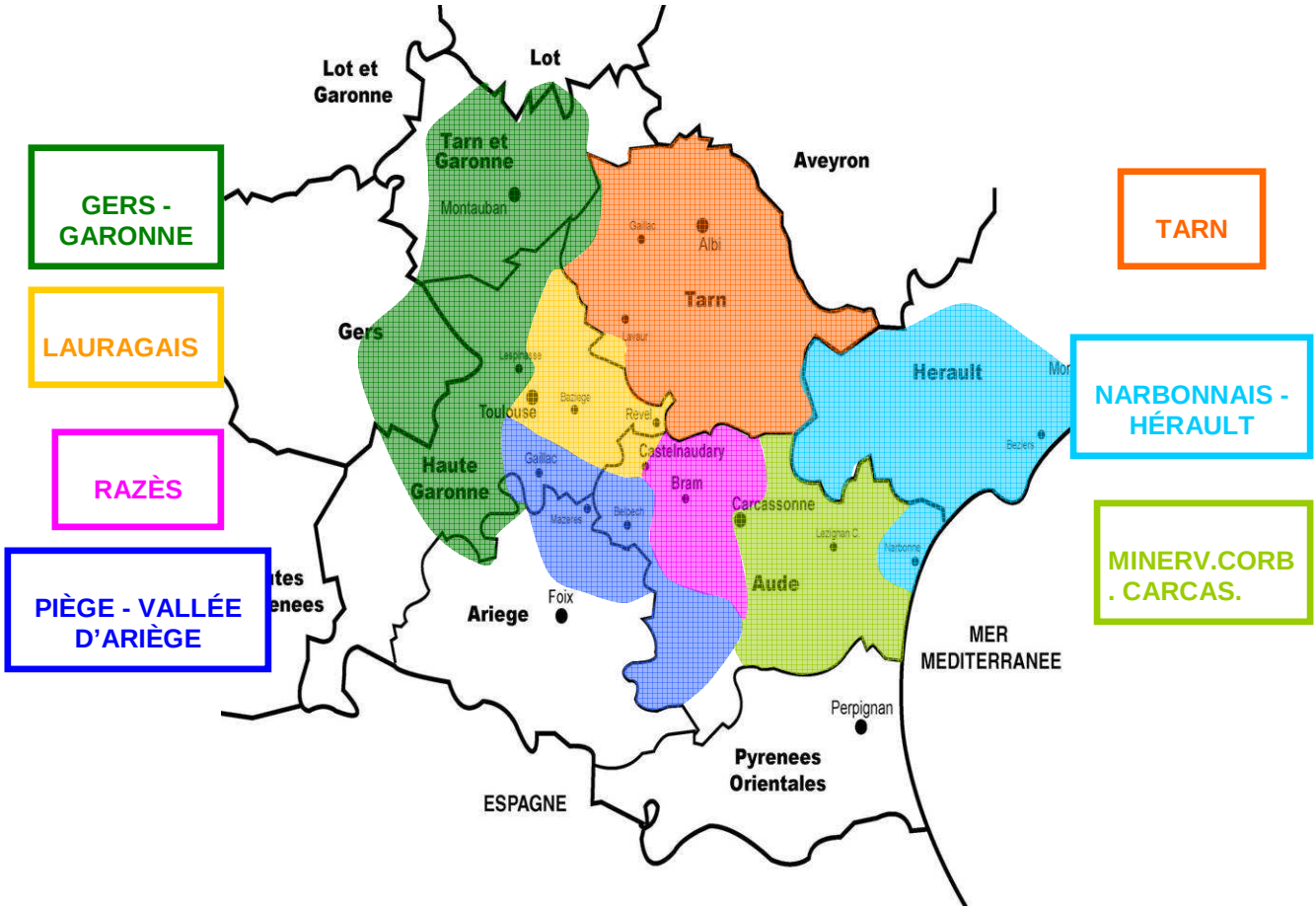


Figure 1 : Le découpage régional Arterris (source : Arterris)

La région **Lauragais** est une région à forte dominante céréalière ; l'élevage est devenu rare. Sur plus de 40 000 ha, le blé dur et le tournesol représentent plus de 85% des récoltes. Les agriculteurs du Lauragais sont essentiellement des céréaliers et quelques entrepreneurs agricoles qui travaillent les terres de clients qui ont bien souvent une activité professionnelle principale non agricole. La région **Razès** est une terre de coteaux propices aux vignobles, mais reste à forte dominante céréalière.

La région **Gers-Garonne** s'étend de part et d'autre de la Garonne à sa confluence avec le Tarn et l'Aveyron. Cette région est à dominante Grandes Cultures (41 000 ha), avec une production plus diversifiée et atteignant des rendements plus faibles que dans le Lauragais. L'élevage bovin, activité historique de cette région, est en fort recul au profit de la céréaliculture. La région **Piège** présente des paysages de landes et collines boisées. C'est une région de polyculture, avec notamment beaucoup de surfaces irriguées (maïs, blé). La région

Tarn est aussi une région de polyculture-élevage, avec notamment des gros élevages hors-sol de poulets et de porcs. La céréaliculture y est bien implantée.

La région **Minervois-Corbières-Carcassonnais** est à dominante viticole (80% des surfaces cultivées). On y produit notamment trois appellations d'Origine Contrôlée : le Minervois, le Corbière et le Cabardès. La région compte aussi 15 000 ha de Grandes Cultures. La région **Narbonnais –Hérault** est spécialisée dans la viticulture et l'arboriculture.

Au-delà de cette organisation en sept régions, les activités plus anecdotiques de chacune peuvent être gérées de manière transversale. Ainsi, le conseil en nutrition animale est assuré par une même technicienne dans les régions Minervois-Corbières-Carcassonnais, Narbonnais-Hérault et Razès.

La réorganisation a modifié le territoire d'action de certains techniciens de terrain. Ces changements ont été communiqués aux adhérents et salariés via l' « Arterris info » et « Arterris Découverte », mensuels d'information qui présentent peu à peu la nouvelle coopérative.

1.4 Le service Recherche, Développement et Innovation

Dans une structure comme Arterris, il est indispensable de faire évoluer les outils de travail, d'innover, de créer de la valeur ajoutée pour être compétitif et prendre une longueur d'avance sur les marchés agricoles. La fusion a permis de dégager de plus grands moyens dédiés à cette activité transversale de l'entreprise. Dans l'organigramme, Anne Paulhe-Massol, ma maître de stage, est en charge de ce service sous la direction de Guillaume Duboin, directeur général adjoint de la coopérative Arterris. Le service comprend six employés à ce jour ; il unifie les activités RDI des trois coopératives historiques.

L'activité RDI peut être divisée en quatre pôles de recherche :

- bioproduits ou « chimie verte » : il s'agit là de développer en partenariat avec des industriels des lubrifiants, adjuvants, matériaux ou encore colles à base d'extraits végétaux, sous couverts de brevets. Plusieurs programmes sont menés sur le tournesol ; on travaille aussi sur le blé tendre, l'ail, le carthame, le fenugrec mais aussi les résidus de culture.
- énergies renouvelables : développement du solaire photovoltaïque, de la valorisation biomasse (méthanisation) et du petit éolien, là aussi en partenariat avec des sociétés spécialisées.
- systèmes de culture : ce service s'appuie sur des expérimentations menées au sein des deux fermes expérimentales d'Arterris pilotées par Pascal Dupuy. Quelques exemples de travaux : augmentation du rendement en huile du tournesol, cultures énergétiques ou création de nouveaux engrais.
- alimentation/nutrition/santé, activité plus récente et moins développée que les précédentes. Il s'agit par exemple de développer de nouveaux types de pâtes alimentaires à partir de variétés de blé dur spécifiques ou de travailler sur la démédicalisation des élevages de lapins.

Le budget et les décisions stratégiques sont discutés en commission RDI (composée de certains administrateurs Arterris) et validés par le conseil d'administration.

ANNEXE 3 : DÉTAILS SUR LE MARCHÉ MONDIAL DES ENGRAIS

L'objectif de la fertilisation minérale est de satisfaire les besoins nutritionnels des plantes en complétant l'offre du sol en éléments minéraux dans des conditions économiquement rentables [Llorens, 2001] et respectueuses de l'environnement. Les éléments que l'on apporte ainsi à la plante sont l'azote, le phosphore, le potassium principalement, mais aussi le souffre, le magnésium et d'autres oligo-éléments. L'autre approche consiste à apporter ces éléments sous forme organique, donc non directement assimilables par la plante. La nutrition des plantes nécessite alors l'action de la microflore du sol, qui minéralise la matière apportée.

Dans les faits, à l'heure actuelle, le trio « NPK » minéral représente la quasi-totalité de la demande au sein de la coopérative, qu'il soit conditionné en engrais simples, binaires N-P, N-K et P-K ou ternaires, suivants diverses formulations. Le marché des engrais s'assimile donc au marché « NPK » minéral que nous décrivons par la suite.

1. Cas des engrais azotés

Tous les engrais azotés sont des dérivés d'ammoniac NH3, selon la réaction chimique suivante :

N2 (g) + 3 H2 (g) <====> 2 NH3 (l) à 8-30 MPa, 350-500°C et catalysée par du fer

Pour produire 1 t de NH_3 il faut 658 m^3 de diazote et 1 974 m3 de dihydrogène. Le diazote provient de l'air, mais le dihydrogène doit être produit. En 2001 [Société Française de Chimie], 71% du dihydrogène est fabriqué à partir de gaz (méthane). Les autres matières premières sont aussi fossiles : charbon, coke, gaz de cockerie ou encore fuel lourd.
Dans le processus, le gaz naturel représente plus de 75 % des coûts de production de l'ammoniac, atteignant même 90% des coûts aux Etats-Unis. En conséquence, le prix des engrais azotés est fortement indexé sur celui du gaz naturel. Ce dernier subit de fortes variations ; il a par exemple été divisé par trois de juillet 2008 à mai 2009 (Figure 2) :

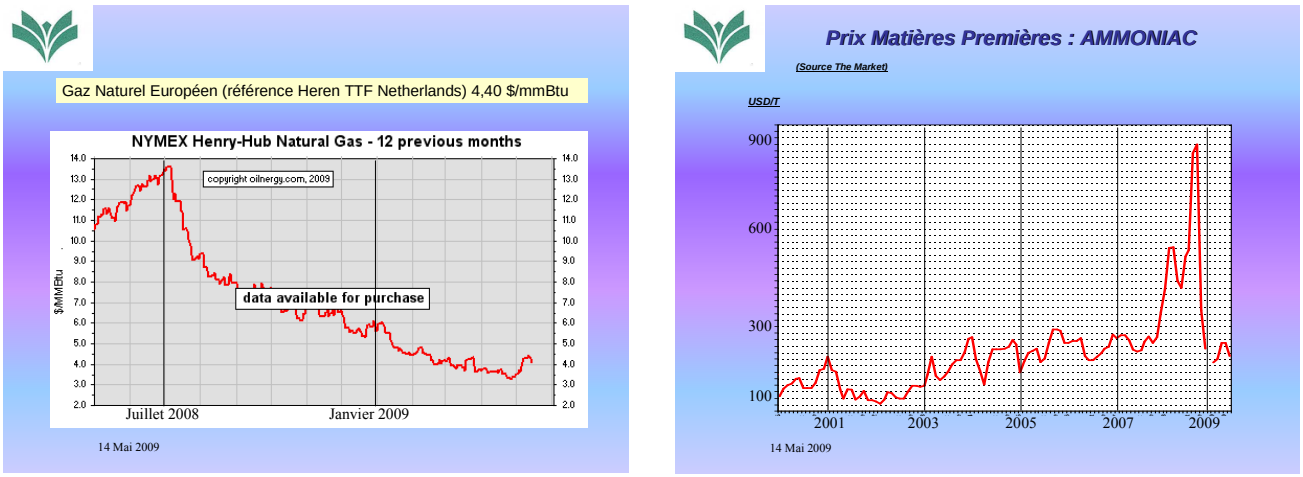


Figure 2 : cours mondiaux du gaz naturel (gauche) et de l'ammoniac (droite) (source : Arterris)

Le prix de l'ammoniac a aussi été divisé par trois dans ce même intervalle de temps, le ramenant à une valeur moyenne de 250 USD/tonne d'ammoniac. De même, une très forte augmentation du gaz au premier semestre 2008 avait triplé les prix des engrais, ce qui était beaucoup plus problématique pour la coopérative !

La corrélation ammoniac/gaz naturel est confirmée par le positionnement géographique des usines productrices d'ammoniac : elles se trouvent à proximité des gisements de gaz naturel ou des grands ports d'importation. C'est aussi le cas en France (Figure 3) :

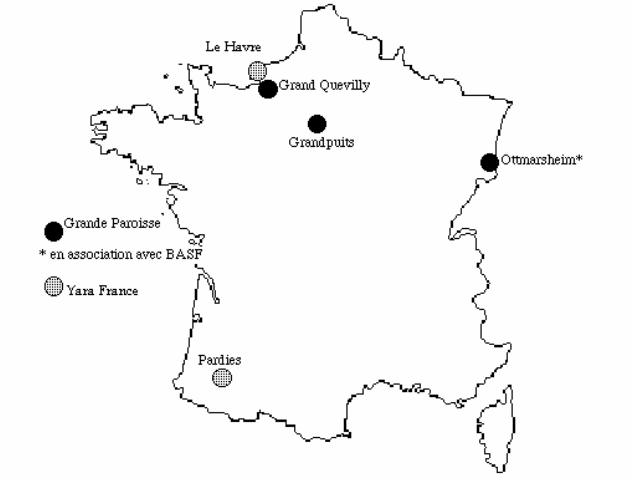


Figure 3 : sites de production d'ammoniac en France métropolitaine (source : Yara France)

2. Cas des engrais phosphatés et potassiques

La matière première de base des fertilisants minéraux phosphatés est le Phosphate naturel de calcium extrait de gisements dont les plus importants sont situés au Maroc, aux USA, en Russie et au Moyen-Orient. Le mélange de la roche phosphatée broyée à de l'acide sulfurique (H_2SO_4) permet d'obtenir de l'acide phosphorique (H_3PO_4).
Les coûts de production des engrais phosphatés sont donc liés aux investissements d'extraction de phosphate, ainsi qu'au cours mondial du soufre. Ce dernier est aussi utilisé dans le secteur du bâtiment. On associe notamment l'explosion du cours de cet élément au boom de l'immobilier chinois ; avant que la crise mondiale de 2009 ne freine les investissements mondiaux dans le bâtiment. Le cours du soufre a suivi (Figure 4a) et cela s'est ressenti sur le cours du phosphore (Figure 4b).

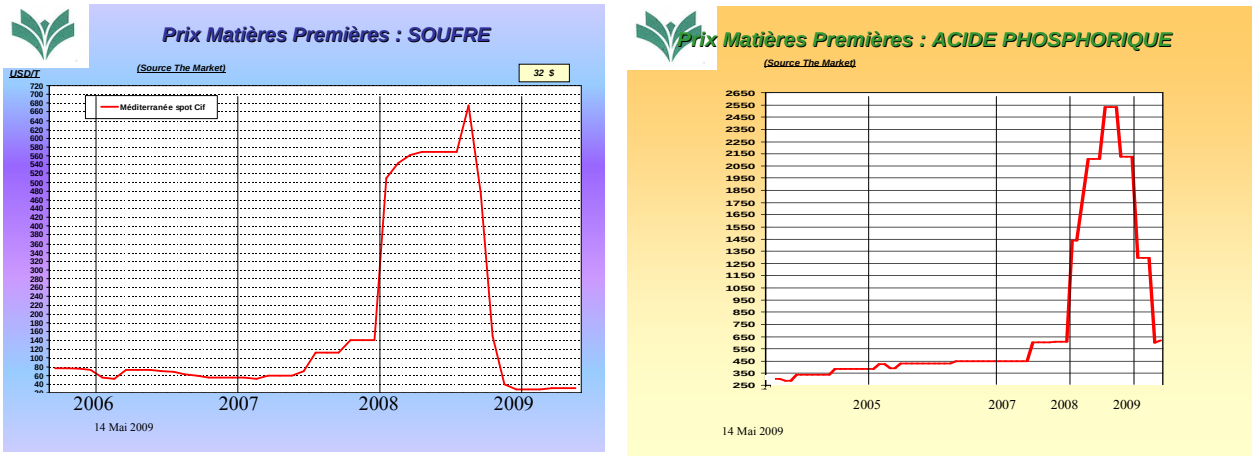


Figure 4 : (a) à gauche, cours mondiaux du soufre (b) à droite, cours mondiaux de l'acide phosphorique (source : Arterris)

Tout comme pour l'azote, les prix du phosphore tendent à retrouver une valeur moyenne, qui prévalait avant 2008.

La situation est un peu différente pour les engrais potassiques. Le minerai de base est principalement de la sylvinite, mélange de chlorure de potassium, de chlorure de sodium,

d'argiles et d'autres impuretés. Les différents composés sont ensuite séparés selon un procédé thermique (basé sur les différences de solubilité à 100°C) ou un procédé dit de flottation (basé sur l'agglutination préférentielle d'un réactif gras autour des cristaux de KCl).
Les principaux pays producteurs de potasse sont ceux d'Europe de l'Ouest, d'Amérique du Nord, les ex-pays de l'URSS et Israël. Les réserves sont suffisantes pour garantir l'approvisionnement de l'agriculture en potasse pour plusieurs siècles, mais les investissements d'extraction sont très lourds. Le prix (Figure 5) est ici directement lié aux capacités et volonté d'investissement des grandes compagnies extractrices, et ne devrait donc pas suivre la tendance à la baisse du N et du P.

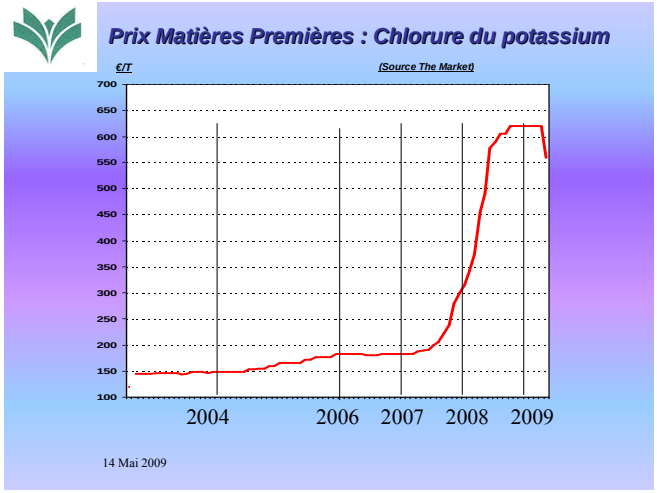


Figure 5 : cours mondial de la potasse (source : Arterris)

Le prix des intrants est dicté par leur coût de production, mais aussi par le rapport offre/demande sur le marché mondial. On peut tenter d'expliquer l'envolée des prix de 2008 de la manière suivante : lors de la campagne 2008, sur fond de crise alimentaire et de spéculation sur le marché des céréales, le prix des céréales atteint des sommets. Cela pousse les agriculteurs à maximiser leurs rendements, d'où une augmentation de la demande d'engrais. Qui plus est, la Chine lance une campagne de subventionnement des engrais, ce qui dope les achats chinois. Le tout conduit à une demande dépassant l'offre, donc à un réajustement des prix à la hausse. Puis, la récolte 2008 est à la hauteur des espérances, les quantités de céréales sur le marché augmentent donc leur prix diminue, et les commandes d'engrais pour la campagne 2009 aussi. De plus, la crise financière crée des problèmes de solvabilité de certains pays importateurs. Il y a ainsi une baisse de pression sur le marché des engrais, dont les prix retrouvent une valeur « pré-2008 ».

Outre la variation des prix, c'est l'approvisionnement lui-même qui est menacé. En effet, la demande émergente d'engrais (et autres produits) des pays asiatiques principalement réoriente le flux de s containers ; qui se dirigent alors moins vers l'Europe. En 2009, la baisse du prix des carburants et la baisse de pression asiatique a réduit cette difficulté d'accès à l'engrais.

L'avenir ? Il sera probablement dicté par le prix de l'énergie.

ANNEXE 4 : LA BIOLOGIE DE LA MÉTHANISATION

1. Historique - Définition

La digestion anaérobie- ou méthanisation- est un procédé ancien. Le phénomène naturel de fermentation en gaz inflammable dans les marais a été identifié par Volta en 1776.
La méthanisation est un processus biologique de dégradation de la matière organique (MO) en un mélange gazeux appelé biogaz. Celui-ci se compose principalement de méthane (environ 60 % en volume, variable selon la filière) et de dioxyde de carbone CO_2 (environ 30%). On y retrouve aussi du diazote, du dioxygène et les produits de dégradation du soufre, à éliminer car très corrosifs pour les conduites de gaz.

Ce processus biologique est observé dans les milieux naturels pauvres en oxygène, comme les zones inondées (marais, rizières). On le retrouve aussi dans les appareils digestifs animaux et humains ; la métaphore du « rumen de bovin » est d'ailleurs souvent attribuée aux méthaniseurs.

2. Une digestion en trois étapes

La digestion anaérobie se déroule globalement à des pH voisins de la neutralité (6.5 à 8.5) et à des potentiels d'oxydoréduction très bas (-300 à -400 mV). La température varie de 10 à 65°C selon le procédé choisi.
On dénombre trois étapes principales dans la méthanogenèse (Figure 6) :

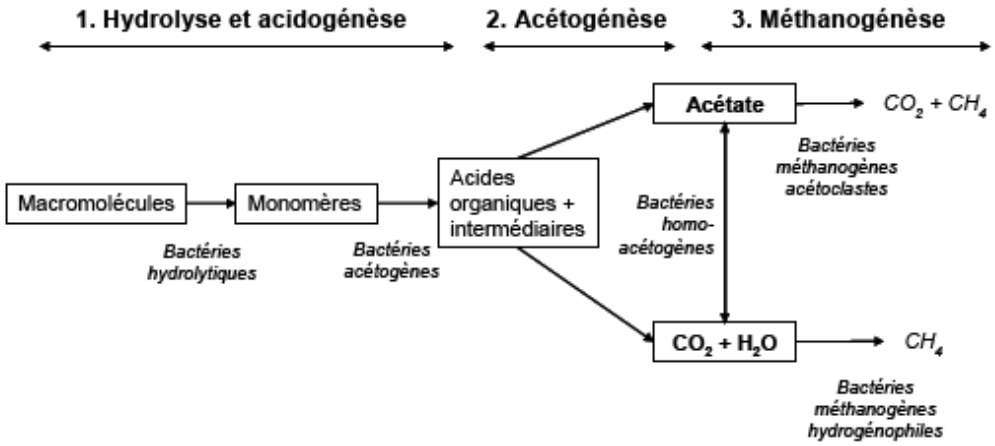


Figure 6 : Voie de dégradation des matières organiques sous condition anaérobie (source : APESA, 2007)

La première étape concerne la dégradation de molécules organiques complexes en monomères. Les composés tels que les polysaccharides (dont la cellulose), les protéines et les lipides sont respectivement hydrolysés en sucres simples, acides aminés et en glycérol & acides gras. Cette transformation est assurée par des enzymes extracellulaires. La transformation n'est pas totale : on estime [Solagro, 2004] le taux de dégradation à 50-70 % pour les lipides, 50% pour les protéines, 60-80% pour la cellulose et 90% pour l'amidon.
Par contre, les composés ligneux ne sont pas du tout hydrolysés par ces bactéries.

Ensuite, les différents monomères sont transformés en acides organiques à courte chaîne (2 à 6 carbones) ; les principaux acides produits sont l'acide acétique, l'acide propionique et l'acide butyrique. Cette phase se traduit souvent par une acidification du milieu. Elle est généralement rapide en raison du fort taux de croissance des bactéries mises en jeu. D'autres co-produits sont générés : du dioxyde de carbone, de l'hydrogène et de l'azote sous forme ammoniacale suite à la dégradation des acides aminés.

Lors de la deuxième étape, ces monomères sont métabolisés par les bactéries acétogènes et transformées en acétate, hydrogène et gaz carbonique.

Enfin, au cours de la dernière étape, l'acétate issu des étapes précédentes est converti en biogaz par les bactéries acétotrophes : c'est la voie majoritaire de production de méthane dans un digesteur. Il existe aussi une production de biogaz par les bactéries hydrogénotrophes qui ont pour substrat le dioxyde de carbone et le dihydrogène. Cette conversion a un double rôle : l'élimination de l'hydrogène régule la production d'acides gras volatils et contrôle la vitesse de catabolisme du propionate et butyrate.
On peut schématiser le bilan matière lors de la méthanisation comme suit (Figure 7) :

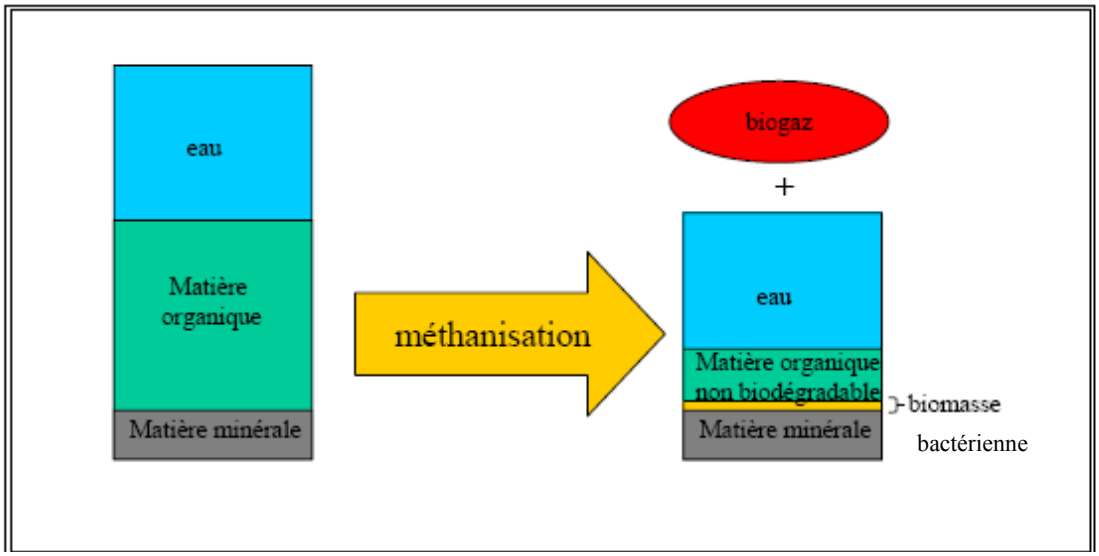


Figure 7 : Bilan matière schématique de la méthanisation (source : Apesa, 2007)

Retenons que seule la fraction biodégradable de la MO des déchets est concernée par la méthanisation.

3. Une réaction sensible aux paramètres de l'environnement

Les bactéries acétogènes sont des bactéries anaérobies strictes, très sensibles aux polluants toxiques et traces d'oxygène. Leur taux de croissance est plus faible que celui des bactéries acidogènes donc elles imposent la vitesse globale de la réaction. En cas dysfonctionnement du procédé (surcharge, variation de température, de pH), on observe une accumulation d'acides gras volatils dans le milieu et une inhibition de la méthanogenèse. Outre le dihydrogène, de nombreux autres composés peuvent empêcher le bon fonctionnement du cortège bactérien. Parmi eux, l'azote ammoniacal inhibe le processus au-delà de quelques grammes par litre. Un seuil de 5 g/l est préconisé [Solagro, 2008], ce qui conditionne les matières acceptées en entrée : on contrôlera l'entrée d'effluents agricoles trop riches en azote. On contrôlera aussi la teneur en soufre pour éviter la concentration de H_2S.

Les unités de méthanisation sont donc des systèmes complexes qui doivent être dimensionnés et alimentés correctement. Cela nécessite des connaissances techniques supérieures à celles requises pour mener une unité de compostage par exemple.

ANNEXE 5 : CLASSIFICATION ET DESCRIPTION DES UNITÉS DE MÉTHANISATION

La classification des projets nécessite de prendre en compte plusieurs critères :

- Les caractéristiques du process employé : paramètres, équipement
- L'identité du porteur de projet
- Le but, l'intérêt de l'investisseur
- La nature des effluents en entrée

Dans la réalité, les trois derniers points vont souvent de pair ; nous pouvons les regrouper et caractériser les unités comme suit (Tableau 2) :

Méthanisation :	**Industrielle**	**des Collectivités**	**Agricole**	**Territoriale**
Déchet en entrée (exemples) :	- Brasseries - Caves vinicoles	- Ordures ménagères - Boues de STEP	- Fumiers - Lisiers	*Trois catégories précédentes*
Objectif principal :	- Réduction volume & charge polluante		- production d'énergie - exportation des excédents N et P - diminution des nuisances	- Production d'énergie verte
Autres objectifs :	- diminution coûts de traitement /filière aérobie - diminution Gaz Effet Serre	- production énergie renouvelable - diminution nuisances		- valorisation économique du digestat - création dynamique territoriale
Modèles actuels :	Europe	Europe	- Allemagne - Chine, Inde	- Danemark
Nombre unités en France :	-100 (2004)	- boues de STEP : 140 (2004) - OM : 6 (2008)	- 4 (2008)	- 4 (2009) - ~10 en cours
Tendance d'évolution 2013	de + 21 à + 39	de + 13 à + 40	Gros potentiel (+1000)	de + 9 à + 15
Source données :	*Ademe*	*Ademe*	*Club Atee-biogaz*	*Ademe*

Tableau 2 : Synthèse des projets de méthanisation existants (source : M Etchart)

1. Classification des unités en fonction de la source de déchets organiques

La catégorie « industries » est assez vaste ; elle comprend :

- les industries agro-alimentaires de grande capacité : papeteries, sucreries, brasseries, abattoirs
- les industries agro-alimentaires de petite capacité : distilleries, caves vinicoles, conserveries, laiteries, confiseries, parfumerie, etc.
- les industries de la chimie : industrie du caoutchouc, textile, pharmaceutique. De nombreuses molécules organiques, y compris de synthèse sont méthanisables, comme les effluents chargés en polyéthylène ou encore glycolate de sodium.

Les caves vinicoles sont en 2004 les premières créatrices d'unités de méthanisation (Figure 8). Dans ce secteur, le problème de la gestion des eaux résiduaires a pris de l'ampleur depuis fin 1993, principalement pour des raisons d'ordre économique et réglementaire. En effet, les exigences de la réglementation française en matière d'installations classées et l'augmentation régulière des redevances pollution calculées par les Agences de l'Eau ont obligé les

responsables de caves vinicoles à installer et gérer des systèmes de traitement de leurs eaux résiduaires. Cet engouement pour la méthanisation résulte aussi d'une volonté de diversification de ce secteur en crise, particulièrement dans le sud-est de la France.

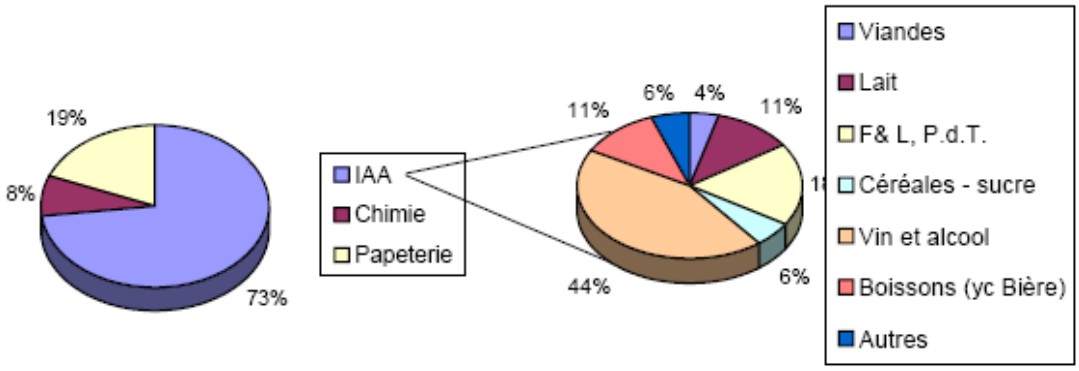


Figure 8 : Répartition des unités de méthanisation industrielle existantes (source : Gaz de France, 2003)

2. Les motifs déterminant l'investissement divergent

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, la production d'énergie n'est pas toujours le motif déterminant d'un investissement. Dans ce type de projet, la valorisation énergétique n'est rentable que si le coût d'investissement et de fonctionnement de l'installation donne un prix de revient de la thermie biogaz (en moyenne 140€/m3) inférieur à celui de la thermie gaz naturel (environ 35€/m3), ce qui est rarement le cas. Ainsi, pour inciter les producteurs de déchets à adopter plus souvent cette technologie plus « écologique et durable » que d'autres, certains pays voisins ont décidé de fixer des prix de reprise de l'électricité (produite à partir du biogaz) à un niveau permettant aux opérateurs de rentabiliser leur investissement. En France, les tarifs d'achats ne sont pas suffisamment incitatifs [Gaz de France, 2003]. Qui plus est, faute d'un véritable marché des matières organiques, les industriels et collectivités connaissent en parallèle des difficultés à écouler l'autre produit de méthanisation, le digestat.

Cependant, elles sont tenues d'éliminer les effluents ou déchets organiques résultant de leur activité et qui restent sous leur responsabilité jusqu'à élimination. Dans ce secteur du traitement des déchets, il s'avère que le rapport coût/bénéfice est meilleur en anaérobie (Tableau 3), comme l'atteste le nombre croissant de digesteurs anaérobie dans les STEP. D'où le développement de la méthanisation industrielle.

€ PAR TONNE DE DCO ENTRANTE	ANAÉROBIE	AÉROBIE	ÉCONOMIE ANAÉROBIE /AÉROBIE
Électricité	5 à 10	30 à 60	0 à 50
Élimination des boues	0 à 20	0 à 180	0 à 160
Coût total de fonctionnement	5 à 30	30 à 180	0 à 210
Recettes (valorisation énergie sur site)	0 à 130	0	0 à 130

Tableau 3 : Comparaison aérobie/anaérobie dans le bassin Adour Garonne (source : Solagro)

Toutefois, dans ce milieu, la digestion anaérobie ne s'impose pas comme elle le devrait si les marchés se comportaient de façon « rationnelle ». Les raisons de ce décalage sont diverses. D'une part, cette technologie repousse par les craintes qu'elle suscite : risques liés au gaz, difficultés de mise en œuvre. D'autre part, les retombées qu'elle engendre en

termes d'image pour l'investisseur jouent un rôle dans la décision d'investissement, surtout au sein des collectivités !

Les objectifs de la méthanisation à la ferme sont tout autres ; le motif déterminant l'investissement varie d'un projet à l'autre. Pour certains, il s'agit d'une diversification de leur activité, d'un investissement qui fait d'une pierre deux coups. En effet, le méthane est composé de carbone et d'hydrogène mais pas d'azote ni de phosphore (ou des traces dans d'autres composants du biogaz). Ainsi, en appliquant la conservation de la matière, la production d'énergie ne se fait pas au détriment de la valeur fertilisante de leurs fumiers et lisiers ; elle s'y ajoute. De plus, la digestion permet d'annuler les nuisances olfactives lors de l'épandage des déchets, sources de conflits de voisinage.

Certains territoires agricoles sont classés en Zone d'Excédent Structurel par la Directive Nitrates, signe d'une trop forte pression azotée sur les terres agricoles. Dans ce cas, la somme des surfaces épandables exploitées les agriculteurs du territoire ne suffit pas à écouler tous les déchets de ferme : les agriculteurs sont contraints par la loi à exporter cette matière vers des territoires non excédentaires en périphérie. Même si méthaniser ne « supprime » pas l'azote et le phosphore, cela réduit les volumes globaux d'effluents et leur coût de transport. C'est un atout de taille de ce processus.

Les projets de codigestion (dernière catégorie) sont des projets plus lourds à mettre en place car ils sont mis en place à l'échelle d'un territoire. On se trouve face à une multitude d'acteurs qui voient le même projet sous divers angles ; on l'a vu. Dans ce cas, le porteur de projet peut être :

- un industriel ou un agriculteur dont le projet personnel n'est pas viable, qui recherche des effluents/débouchés supplémentaires
- une collectivité qui veut impulser une dynamique locale
- une société qui propose une prestation de service, une externalisation des coûts/contraintes de chacun tout en tirant profit du process.

3. Pays modèles dans chaque cas

En ce qui concerne le traitement des effluents industriels et déchets de collectivités, les pays européens proposent une gamme de technologies qui couvrent bien la demande.

L'Allemagne est souvent prise comme référence pour la méthanisation agricole. Sa politique énergétique d'augmentation des tarifs d'achat de l'électricité a permis la création d'environ 4000 installations à ce jour. Depuis 2004, la mise en place d'une prime aux cultures énergétiques a généré une filière biogaz basée sur les cultures énergétiques, ce qui est de plus en plus remis en question car il crée une compétition énergie/alimentation.
En Inde, Chine et Népal principalement [Club Atee-biogaz], la méthanisation est le moyen de combiner absence de services d'hygiène collective dans les zones rurales, lutte contre la propagation des maladies et production de combustible local. Depuis les années 30, on compte des millions d'installations rustiques. Depuis les années 80, des programmes de recherche associant organismes publics et sociétés privées visent à optimiser et développer la méthanisation dans ces pays.

Le Danemark a développé à partir des années 1980 la méthanisation centralisée ou collective. A la base, on trouve un groupement d'éleveurs qui souhaitent diversifier leurs revenus. Ces installations collectives reçoivent environ un quart de déchets extérieurs, provenant d'industries locales ou des collectivités (déchets verts, boues). Elles sont soutenues par un tarif d'achat préférentiel de l'électricité et surtout des réseaux de chaleur performants.

La valorisation du digestat passe par son injection dans les terres arables des associés et aussi des céréaliers voisins ; ce qui diminue la pression azotée dans les exploitations engagées [Femenias ; 2008].

4. Evolution du marché de la méthanisation à l'horizon 2013

L'ADEME a conduit en 2003, pour le compte de Gaz de France, une étude visant à prévoir l'évolution du marché de la méthanisation industrielle (ou plutôt qui traite des déchets industriels) à un horizon de 10 ans, avec une hypothèse intermédiaire à 5 ans (en 2008). Les chiffres du tableau 1 retranscrivent les hypothèses sur la tranche 2008-2013.
Les systèmes de codigestion tendent à évoluer plus lentement que les méthanisations industrielles et de déchets de collectivités. Cela peut s'expliquer par le fait, on l'a vu, que les projets sont plus complexes donc plus difficiles à mener à terme. Notamment, la sécurisation des matières entrantes - indispensable à la définition de la rentabilité du projet- est moins évidente quand plusieurs acteurs sont impliqués.

Par ailleurs, la méthanisation à la ferme reste encore peu développée en France par rapport à d'autres pays européens. De nombreuses initiatives sont menées par l'ADEME et l'Union Européenne (programme Bioprofarm) pour promouvoir ces pratiques. L'ADEME a également diffusé sur Internet l'outil « Gaz de ferme ». Il permet à tout un chacun d'évaluer simplement la viabilité de son projet de méthanisation à la ferme. Le potentiel est énorme ; on estime à un millier le nombre de méthaniseurs agricoles en 2013, sans que la fiabilité de cette donnée soit garantie [Solagro, 2009].

5. Classification technique des projets

On peut aussi classer les unités de méthanisation existantes selon deux critères techniques-clé:

- température de la digestion
- humidité du mélange

La digestion est de type mésophile avec une température du réacteur maintenue à 35-37°C ou de type thermophile (55°C). Le choix est déterminé par le couple {maîtrise du procédé, degré d'hygiénisation souhaité en sortie}. La conduite d'un réacteur thermophile permet une meilleure hygiénisation vis-à-vis de certains germes pathogènes (Tableau 4), améliore la vitesse de dégradation et de formation de gaz (mais pas la quantité produite) et améliore la fluidité des graisses. Toutefois, elle est également réputée fragile face aux inhibiteurs, notamment l'azote ammoniacal. La tendance récente en Europe est de construire plutôt des digesteurs thermophiles (Apesa, 2007).

Agent pathogène	Concentration initiale	Concentration finale	Taux de réduction	Durée	Température
Salmonelles			100 %	10 minutes	60°C
Coliformes	2.700.000	2.300	99,9 %	18 jours	60°C
Entérocoques	160.000	170	99,9 %	18 jours	60°C
Ascaris			100 %	20 minutes	60°C
Salmonelles			100 %	48 heures	35°C
Coliformes	2.700.000	55.000	98 %		35°C
Entérocoques	160.000	3.000	98 %		35°C
Ascaris			100 %	30 jours	38°C

Tableau 4 : Efficacité d'élimination de pathogènes selon la température choisie (source : « Etat des connaissances sur le devenir des agents de risques sanitaires de la filière méthanisation des déchets et sous-produits organiques », SOLAGRO, ENSAT, ENVT, ARM, 1999)

Quant à l'humidité, on distingue la méthanisation « en phase sèche » de la méthanisation « infiniment mélangée » ou « liquide ». Dans le premier cas, la siccité est inférieure à 20% de matière sèche. Cette technique s'applique aux effluents liquides et aux mélanges liquide-solide, avec rajout d'eau en entrée si nécessaire ; le résidu est pompable. Dans le second cas, on méthanise des effluents uniquement solides, la siccité est comprise entre 20 et 45 % et le résidu est pelletable. C'est le type d'effluent en entrée qui conditionne ce choix : on optera pour une voie liquide si les effluents à traiter le sont. La majorité des méthaniseurs en Europe sont de type « infiniment mélangé » ; la méthanisation sèche étant principalement développée pour le traitement de la Fraction Fermentescible des Ordures Ménagères.

ANNEXE 6 : AMONT ET AVAL D'UN MÉTHANISEUR, DEUX POINTS STRATÉGIQUES À MAITRISER

1. Choix multicritère des affluents de méthanisation

A priori, toute MO fermentescible est méthanisable, quelle que soit son origine. Lorsque le porteur de projet dispose de plusieurs sources d'effluents - c'est le cas pour des projets de codigestion - il recherche le mélange qui optimisera son installation. Cette étude préalable prend divers critères en compte.

1.1 Choix selon la qualité de la matière organique

Il est primordial de caractériser au mieux ces matières afin de prévoir leur comportement dans le réacteur. Comme on l'a vu, c'est la fraction de MO biodégradable qui va subir des transformations ; c'est donc cette fraction que nous cherchons à connaître. Cette caractérisation, qualitative et quantitative a deux objectifs. Le premier est d'empêcher les nombreuses possibilités d'inhibitions bactériennes. Le deuxième objectif est de prévoir le rendement énergétique (donc économique) de l'installation puisque tous les déchets n'ont pas le même « **potentiel méthanogène** ». Ce dernier correspond à la quantité maximale de méthane susceptible d'être produite lors de la dégradation dudit déchet et s'exprime en m^3 de CH_4 par tonne de matière brute. Quelque soit le déchet, un kg de DCO produit toujours la même quantité de méthane, soit 0.35 m^3. La mesure du potentiel méthanogène directe des mélanges d'effluents est onéreuse, donc on se réfère dans un premier temps aux standards diffusés par l'Ademe (Figure 9) en supposant l'additivité des potentiels individuels.

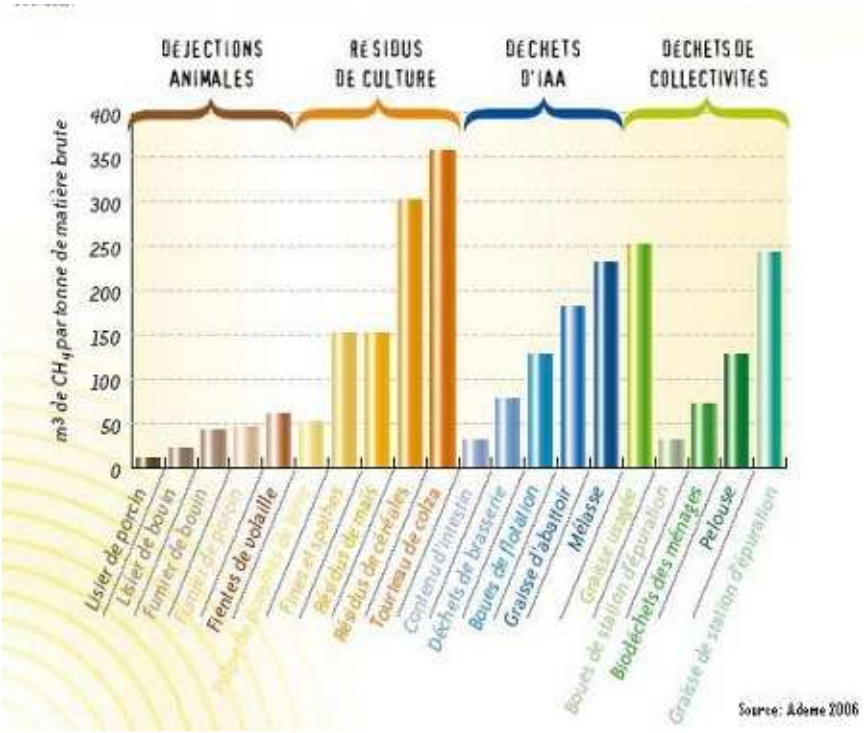


Figure 9 : Potentiel méthanogène de différents déchets (source : Ademe, 2006)

D'une manière générale, **les déchets gras et sucrés sont les plus méthanogènes**. En parallèle, plus le déchet est sec, plus il contient potentiellement de MO, plus il est potentiellement méthanogène. Cette relation n'est pas linéaire, surtout pas la relation MO-potentiel méthanogène : le cas des débris ligneux l'illustre bien. Les résidus de culture, et en particulier les issues de silo, combinent les deux aspects : ils sont donc fortement méthanogènes ; les déchets d'industries agro-alimentaires le sont aussi.

1.2 Choix selon des critères techniques

La granulométrie est contrôlée, avec broyage en entrée si nécessaire. Des déchets trop gros risquent de boucher les conduites ou d'empêcher le contact bactérie/matière.

Les effluents contenant des traces d'antibiotiques, des résidus phytosanitaires ou encore des éléments traces métalliques en trop forte concentration sont écartés car ils risquent d'altérer l'activité microbienne. De même, certains effluents -de process industriels généralement- présentant des pH extrêmes (eaux de lavages de cuves très basiques) seront écartés ou prétraités.

Enfin, la siccité du produit est importante. Dans le cas d'un réacteur infiniment mélangé, on recherchera des effluents liquides pour diminuer les coûts énergétiques du brassage. Cela conduit à intégrer les lisiers (moins de 10% de MS) dans les projets, pourtant très peu méthanogènes.

1.3 Choix selon des critères règlementaires

Les effluents d'abattoirs sont recherchés car les matières telles que le sang, les graisses ont un bon potentiel méthanogène. Toutefois, en écho à la crise de l'Encéphalopathie Spongiforme Bovine et depuis 2003, l'article 15 du règlement 1774/2002 classe les sous-produits animaux en différentes catégories:

- Catégorie 1 : Sous-produits d'origine animale suspects de maladies transmissibles à l'homme ou aux animaux. Ils proviennent en particulier d'animaux atteints ou suspects d'Encéphalopathie Spongiforme Transmissibles (EST), de Matériels à Risque Spécifiés de ruminants (MRS), ou d'animaux contaminés par des substances illégales ou des contaminants dangereux. Les cadavres d'animaux de compagnie ou sauvages ou de zoo appartiennent à cette catégorie. Les produits de cette catégorie sont automatiquement destinés à la destruction par incinération ou par enfouissement dans une décharge agréée.
- Catégorie 2 : Sous-produits animaux issus d'un animal mort en dehors d'un abattoir, ou contenant des résidus de médicaments, lisiers et matières stercoraires, lait, colostrum et matières recueillies lors du traitement des eaux des abattoirs. Les produits de cette catégorie ne peuvent être réutilisés en alimentation animale.
- Catégorie 3 : Sous-produits issus d'animaux sains abattus en abattoirs et déclarés propres à la consommation humaine.

Les déchets des catégories 2 et 3 peuvent être incorporés dans un méthaniseur sous réserve de prétraitement : pasteurisation pour les déchets de type 3 ; stérilisation pour ceux de type 2. Des unités de traitement thermique sont donc à prévoir dans les sites de méthanisation.

1.4 Choix selon des critères économiques

Le but du projet est aussi de dégager des revenus des déchets reçus, c'est-à-dire de facturer une prestation de traitement de déchets. Dans la pratique, on peut faire une exception pour les déchets très méthanogènes.

Pour ce faire, il faut au préalable que la matière visée soit considérée par son propriétaire comme un déchet et non un co-produit valorisable, comme c'est souvent le cas en agriculture. On cible donc le marché des industriels, collectivités qui n'ont pas la compétence pour éliminer leurs déchets et sous-traitent déjà cette activité. Le potentiel est *a priori* énorme : la dernière étude de l'ADEME en 1994 recense 43 millions de tonnes de déchets organiques issus des IAA par an (à 73% issus de la transformation du sucre et du lait), sans compter tous les invendus des grandes surfaces. A titre de comparaison, on évalue la production de déjections animales à 280 millions de tonnes par an. Ces déchets sont actuellement dirigés vers les principales filières suivantes :

- transformation pour l'alimentation animale pour les résidus alimentaires
- épandage agricole en tant qu'amendement pour les déchets de viticulture (marcs de raisin), sucreries, distilleries
- filière d'incinération et récupération d'énergie pour les déchets carnés
- alimentation animale, cosmétologie ou pharmacologie pour les résidus liquides de laiteries / fromageries en raison de leur forte teneur en protéines.

Les coûts de traitement varient de 10 à 20 €/tonne traitée ; hors déchets spéciaux (abattoirs) donc les coûts peuvent aller jusqu'à 150 €/t [Femenias, 2008]. Il n'est pas facile de proposer une offre concurrentielle dans toutes ces filières. Par exemple, la filière carnée est contrôlée par la société Fersobio, spécialiste de l'équarrissage dans le sud-ouest de la France. Le cas échéant, le porteur de projet met en avant un tarif de traitement concurrentiel mais aussi une amélioration de la qualité du service proposé ou du coût environnemental du traitement (distance parcourue par les déchets moindre donc amélioration du bilan carbone, participation à la production d'énergies renouvelables, etc.). En rencontrant les industriels ou même au sein d'Arterris, on constate une compétition croissante entre les filières pour la récupération de leurs déchets. Ces sociétés sont de plus en plus sollicitées et le déchet a tendance à devenir un co-produit ! Dans ce contexte, la maîtrise de l'amont de la méthanisation devient un point crucial. Dans le cas d'une multiplication de méthaniseurs sur un territoire, les nouveaux porteurs de projet devront redoubler d'énergie pour séduire les industries encore « libres ».

2. Les produits de méthanisation doivent être valorisés

Pour donner un ordre d'idée, voilà les quantités de produits que l'on obtient en sortie d'un méthaniseur collectif recevant 10 000 tonnes de déchets (Figure 10) :

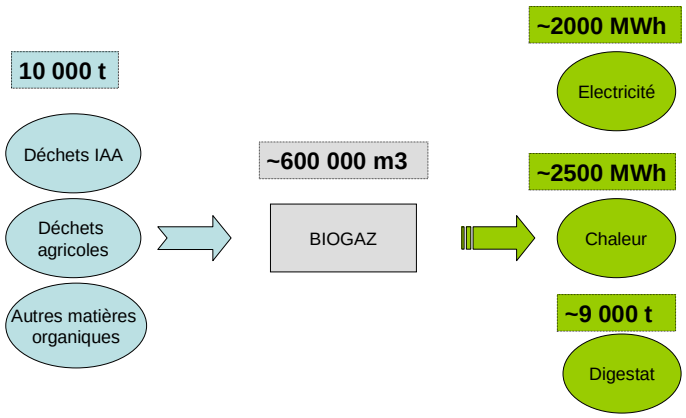


Figure 10 : Production d'une unité de méthanisation collective (M Etchart, source : Valorem)

Les projets en fonctionnement en France traitent entre 15 000 t (Bressonville, 91) et 70 000t (Geotexia, Bretagne) de déchets en entrée.

2.1 Diverses utilisations du biogaz

Biogaz est le nom donné au gaz issu de la fermentation de déchets organiques, que ce soit en décharge ou dans un réacteur fermé. En termes de composition, on le compare souvent au gaz naturel actuellement commercialisé (Tableau 5) :

Données en % volumique	Biogaz brut	Gaz naturel	
		Brut	Commercialisé
Méthane	45-68	70-90	> 90%
Ethane, propane, butane	traces	0-20	0-10
Dioxyde de carbone	26-32	0-8	traces
Oxygène	0-2	0-0.2	
Dérivés–N : N_2, (NH_3)	1-17	0-5	
Hydrogène sulfuré	0.005-1 g/m^3	0-5	

Tableau 5 : Composition du biogaz et du gaz naturel (source : Club Atee-Biogaz et Naturalgas.org)

Ce biogaz peut être converti en de multiples formes d'énergie ; certaines options sont déjà largement développées au niveau européen [Apesa, 2009]:

- utilisation directe en chaudière et production de chaleur, d'eau chaude ou de vapeur
- production d'électricité et de chaleur par turbine de cogénération
- production de gaz naturel après épuration
- carburant automobile après épuration et compression

Le choix se fait selon les opportunités locales. D'une manière générale, les valorisations thermiques nécessitent un débouché de proximité, ce qui permet de limiter les pertes de chaleur ou les coûts de construction de canalisations de gaz. De plus, le débouché doit être constant dans l'année. En France, n'oublions pas que les maisons et collectivités sont chauffées moins de six mois dans l'année (bien moins donc que dans les pays nordiques comme le Danemark). Ce débouché sera donc une solution de soutien ; les porteurs de projet doivent se tourner vers des industriels (eau chaude de nettoyage, fours de cuisson, etc.).
L'optimum semble donc l'exportation vers les réseaux de distribution, électricité ou gaz naturel, qui permettent de s'affranchir de la proximité et de la saisonnalité.

L'injection de l'électricité de cogénération se pratique déjà en France, sur la base de tarifs préférentiels fixés par l'arrêté national du 10 juillet 2006 (Tableau 6) :

<table>
<tr><td rowspan="2">Puissance installée</td><td rowspan="2">Tarif base (c€/kWh)</td><td rowspan="2">Prime méthanisation</td><td colspan="3">Prime valorisation thermique (c€/kWh)</td><td rowspan="2">Total (c€/kWh)</td></tr>
<tr><td>V*≤ 40%</td><td>40<V<75</td><td>≥75%</td></tr>
<tr><td>≤ 150 kW</td><td>9</td><td rowspan="3">2</td><td rowspan="3">0</td><td rowspan="3">Interpolation linéaire</td><td rowspan="3">3</td><td>11-14</td></tr>
<tr><td>150 kW <P<2MW</td><td>Interpolation linéaire</td><td>Interpolation linéaire</td></tr>
<tr><td>≥ 2 MW</td><td>7.5</td><td>9.5-12.5</td></tr>
</table>

*Avec V=(énergie thermique valorisée[vendue ou autoconsommée] + énergie électrique valorisée [vendue ou autoconsommée]) / (énergie primaire biogaz * 0.97)*

Tableau 6 : Tarification de l'électricité produite par méthanisation en France (source : Club Atee-Biogaz)

On constate que le tarif d'achat est conditionné par le type d'installation. Les installations de petite taille sont privilégiées, pour pallier leur perte d'économie d'échelle. Ensuite, le prix est conditionné par les débouchés trouvés pour la chaleur, qui comptent pour environ 30% du prix de rachat ! A noter aussi que les besoins en chaleur propres à l'installation ne sont pas pris en compte dans le calcul. On comprend donc l'urgence à trouver des débouchés chaleur ; d'autant plus que les tarifs d'obligation d'achat sont conclus pour quinze ans. C'est pratiquement la première question posée dans un projet, celle qui **dicte l'emplacement et la dimension de l'unité de méthanisation.**

Soumise à la Directive européenne 2003/55/CE3, l'injection du biogaz après épuration dans le réseau est pratiquée en Allemagne, en Autriche, aux Pays-Bas, en Suède et en Suisse mais reste interdite à ce jour en France. La principale raison invoquée était (démentie depuis par l'AFSSA) le risque sanitaire pour les usagers. Cette option semble pourtant la plus logique en matière de rendement énergétique. L'autorisation d'injection mais aussi les négociations des tarifs d'achats seront des étapes cruciales qui conditionneront le développement de cette filière en France.

2.2 Le digestat dans la méthanisation

Le digestat correspond à la fraction résiduaire, non digérée des MO ajoutées au méthaniseur. Il faudrait plutôt parler de digestats de méthanisation car on dénombre autant de digestats différents que de mélanges d'effluents en entrée de réacteur. Tout comme les déchets des industries agro-alimentaires, les digestats peuvent être considérés par leur propriétaire comme :

- des déchets dans le cas des méthaniseurs industriels et des collectivités, qui veulent en réduire le volume et la charge ;
- un co-produit pour les méthaniseurs agricoles et collectifs, qui cherchent alors à le valoriser.

Dans tous les cas, un digestat reste un « déchet » au sens réglementaire du terme. En conséquence, en suivant la loi 75-633 du 15 juillet 1975, le détenteur de déchets est tenu d'assurer correctement la gestion et l'élimination du digestat.

Les possibilités d'écoulement du digestat sont comparables à celles d'autres produits organiques, puisque le digestat n'a pas encore de statut particulier ; c'est un déchet organique. On a alors le choix entre la « logique déchet » (épandage, post-traitement, incinération, enfouissement) et la « logique produit » (normalisation ou d'homologation).

ANNEXE 7: SCHÉMA DE PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE

Ce schéma (Figure 11) a été conçu pour la méthanisation à la ferme mais il est aussi très pertinent pour résumer les enjeux de la méthanisation collective. En effet, il s'agit ici de méthanisation à la ferme ouverte sur les déchets extérieurs ; autrement dit plutôt une méthanisation collective à petite échelle, centrée sur l'exploitation agricole plutôt que sur une unité indépendante.

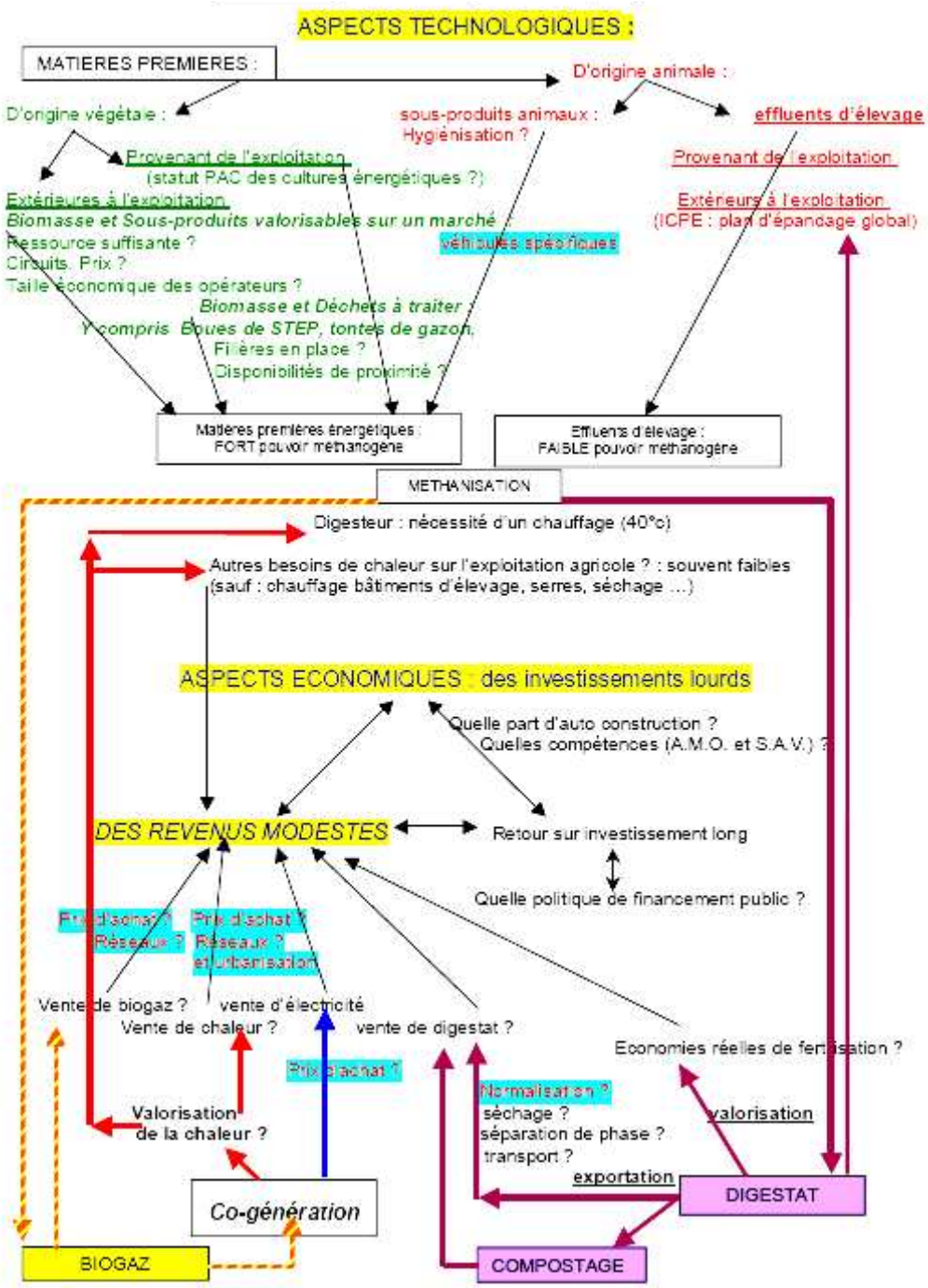


Figure 11 : questions que l'on se pose en méthanisation collective (source : Femenias, 2008)

ANNEXE 8 : CALENDRIER D'UN PROJET DE MÉTHANISATION TERRITORIALE

On prévoit pour ce type de projet un déroulé en trois phases : une première phase « préparatoire », une phase administrative puis la phase finale de construction. La méthanisation ne démarre réellement que deux à trois ans après le lancement de la première phase.

La phase préparatoire comprend une étude dite de préfaisabilité, puis de faisabilité. L'étude de préfaisabilité est une reconnaissance de terrain : on identifie les acteurs, on estime leurs gisements en déchet/besoins en chaleur. Elle permet d'affiner les contours de la zone d'étude. Ensuite, l'étude de faisabilité inclut la rencontre et l'interrogation des acteurs susceptibles d'être intéressés ; elle affine le diagnostic de préfaisabilité et permet de proposer plusieurs scénarios de projet. Une information plus vaste est alors diffusée, notamment auprès des riverains et autorités administratives. La distinction entre préfaisabilité et faisabilité n'est pas dans les faits aussi tranchée. La phase préparatoire conclut à la viabilité ou non du projet ; elle dure de six mois à un an. Si le projet est viable, on enclenchera les phases administratives et de construction.

La phase administrative est indispensable car une unité de méthanisation est une installation classée pour l'environnement (ICPE) soumise à autorisation. Ainsi, il faut effectuer une demande d'autorisation auprès du préfet. Le dossier comprend entre autres une étude d'impact, de danger, incendie et bruit ; ce qui explique la longueur de cette étape : minimum un an. Notons que plus tôt les acteurs administratifs ont connaissance du projet, meilleurs seront les délais administratifs.

La phase de construction peut commencer dès que le dossier ICPE est entamé ; elle dure de six mois à un an.

Dans notre cas, parallèlement, le projet s'organisera en interne par la création d'une société de projet regroupant Arterris-Valorem, nommée « Valterris ». Cela facilite les démarches administratives ainsi que les recherches de financements. Il s'agit aussi de définir les statuts juridiques de la société, les parts sociales de chaque partie et les engagements réciproques. D'ores et déjà, Valorem et Arterris se posent en investisseur dans ce projet.

ANNEXE 9 : RAPPELS SUR LA DIRECTIVE NITRATES

La directive Européenne n° 91-676 du 12 septembre 1991, dite « Directive Nitrates » vise à protéger les eaux superficielles et souterraines contre la pollution par les nitrates d'origine agricole. Elle se traduit par :

- la délimitation des zones « vulnérables », c'est-à-dire où la pollution par les nitrates d'origine agricole est avérée
- la définition d'un programme d'action applicable dans ces zones, ensemble de mesures qui doivent obligatoirement être mises en œuvre par les exploitants agricoles.

Les programmes d'action sont révisés tous les quatre ans environ (nous en sommes au 4ème programme national), et sont appliqués à l'échelle départementale, ce qui permet d'intégrer des spécificités locales si besoin.

1. Délimitation des zones vulnérables

Dans notre territoire, voici les communes concernées par cette réglementation (Figure 12) :

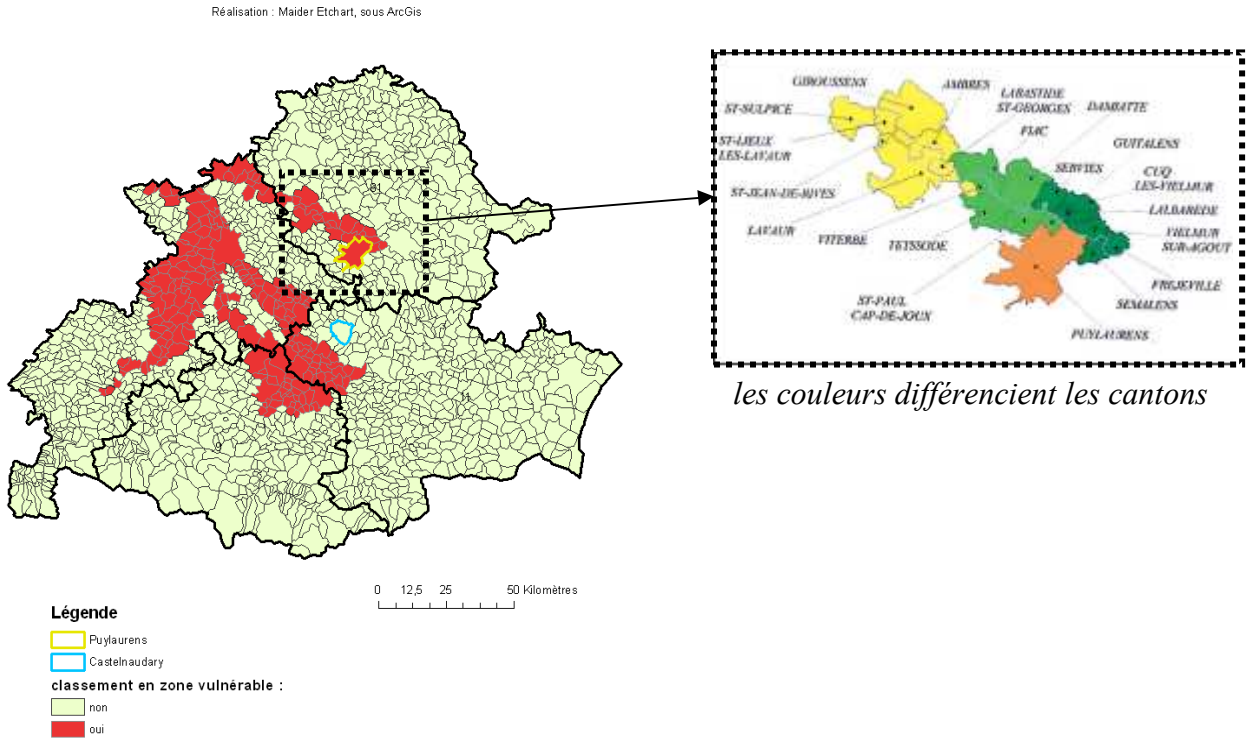


Figure 12 : Réglementation Nitrates dans notre territoire (source : M Etchart, données CA Tarn)

La commune de Puylaurens fait partie de la zone vulnérable ; Castelnaudary non.

2. Mesures à appliquer par les exploitations agricoles :

❖ CALENDRIER D'EPANDAGE

La directive limite les périodes d'épandage, en fonction du type de fertilisant :

TYPE I = fumiers*	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin
Sols non cultivés	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Grandes cultures implantées à l'automne												
Grandes cultures implantées au printemps	■	■										
Prairie de plus de 6 mois												
Colza												

TYPE II = lisiers / fientes*	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin
Sols non cultivés	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Grandes cultures implantées à l'automne					■	■	■					
Grandes cultures implantées au printemps	■	■	■	■	■	■	■					
Prairie de plus de 6 mois						■	■					
Colza					■	■	■					

TYPE III = engrais minéral	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin
Sols non cultivés	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Grandes cultures implantées à l'automne			■	■	■	■	■					
Grandes cultures implantées au printemps	■	■	■	■	■	■	■	■				
Prairie de plus de 6 mois				■	■	■	■					
Colza					■	■	■					

Des dérogations aux périodes d'interdiction d'épandage peuvent être accordées dans les conditions suivantes :

➢ En cas de fractionnement des apports de fertilisants de type III l'épandage sur les parcelles portant une grande culture de printemps irriguée est toléré entre le 1 et le 15 juillet. Sur maïs irrigué , la tolérance s'applique jusqu'au stade "brunissement des soies".

➢ Des dérogations peuvent être accordées pour les fertilisants de type I ou II, après avis du ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire. Un dossier de demande, transmis au préfet, doit comprendre :

- ◆ une description des pratiques actuelles et leur lien avec la pollution azotée des eaux,
- ◆ les conséquences techniques et économiques de l'application stricte des périodes d'interdiction d'épandage,
- ◆ les solutions proposées (pratiques dérogatoires) et leurs conséquences sur la maîtrise des fuites de composés azotés,
- ◆ les modalités du suivi mis en place afin d'apprécier la réduction des risques par rapport aux pratiques actuelles (suivi expérimental local),
- ◆ l'avis motivé du groupe de travail départemental sur la demande de dérogation.

➢ Des dérogations peuvent être accordées également pour les fertilisants de type III sur céréales d'hiver avant le 15 janvier dans le cas de situations exceptionnelles aux plans climatique et agronomique, sur des zones infra-départementales, au vu d'un dossier technique justifiant :

- ◆ d'une année climatique exceptionnelle basée sur l'analyse des conditions climatiques (pluviométrie, températures...) favorisant un stade précoce des cultures,
- ◆ d'un stade « trois feuilles » de la céréale atteint par la moitié des plants de la parcelle,
- ◆ de reliquats d'azote faibles estimés en fonction des précédents et des types de sol et validés par un minimum d'analyses de sol (reliquats dans l'horizon 0-60 cm du sol inférieur à 30 U N / ha mesurés ou estimés par le bilan de fertilisation ou issus des préconisations du groupe de travail régional),
- ◆ d'un apport ajusté au besoin de la plante en prenant en compte les reliquats d'azote du sol. La dose est calculée par différence entre le reliquat mesuré ou estimé et la dose maximale recommandée par les conseillers agricoles dans la limite de 40 U N /ha.

❖ INTERDICTIONS D'EPANDAGE ET CONDITIONS PARTICULIERES

➢ L'épandage des effluents d'élevage et des produits issus de leur traitement est interdit à moins de 35 mètres des berges des cours d'eau, cette limite est réduite à 10 mètres si une bande de 10 mètres enherbée ou boisée et ne recevant aucun intrant est présente de façon permanente en bordure de cours d'eau.

➢ L'épandage des fertilisants azotés minéraux est interdit à moins de 5 mètres des berges des cours d'eau.

➢ L'épandage est interdit sur les sols pris en masse par le gel, inondés, détrempés ou enneigés. Sur les sols gelés uniquement en surface, alternant gel et dégel en vingt quatre heures, l'épandage est possible pour tous les types de fertilisants.

➢ Plus généralement les épandages devront respecter le plan d'épandage lorsque ce dernier a été établi ou le règlement sanitaire départemental approuvé par arrêté le 8 juillet 1996, sauf dispositions autorisées au chapitre 5 alinéa 1.

❖ RAISONNEMENT DE LA FERTILISATION

La fertilisation doit être raisonnée de manière à ce qu'il y ait équilibre entre les besoins de la culture et les fournitures d'azote de toute origine (minéral, organique, issu de la minéralisation, des résidus de culture, des arrière- effets ...).
Le bilan azotée doit être calculé à la parcelle ou à l'îlot cultural (précédent, nature du sol et objectif de rendement identique). Ce bilan doit prendre en compte les éléments suivants :

- ◆ les besoins de la culture doivent être estimés à partir d'un rendement objectif raisonnable : il s'agit du 2ème meilleur rendement réalisé sur les cinq dernières années, (sauf cas particuliers : reprise d'exploitation, changement de mode de conduite...)
- ◆ les apports d'azote minéral et organique, (effluents d'élevage, boues, effluents agro-industriels)
- ◆ les fournitures d'azote du sol : comprenant les reliquats sortie hiver évalués par calcul (bilan d'azote sur le précédent) ou mesurés et une estimation de la minéralisation pendant la culture,
- ◆ les fournitures d'azote issues de la dégradation dans le sol des différentes sources végétales : résidus de cultures, de CIPAN, de jachère, de prairies,

Limiter les apports d'azote organique :

Pour chaque exploitation agricole, la quantité d'azote totale contenue dans les effluents d'élevage épandus annuellement, y compris les déjections directes des animaux dans les prés, ne doit pas dépasser **170 kg par hectare de Surface Potentiellement Épandable** (SPE) et par an (notice de calcul de la quantité totale d'azote issue des effluents d'élevage et de la SPE en **annexe n°5**).

Les fumures azotées issues de l'épandage des effluents d'élevage doivent être intégrées dans le plan de fumure prévisionnel et le cahier d'enregistrement annuel des épandages.

Dans le cas où les effluents d'élevage sont épandus en dehors de l'exploitation concernée, un bordereau de transfert (**annexe n°6**) co-signé par le producteur des effluents et le destinataire doit être établi pour la livraison.

❖ ENREGISTREMENT DES PRATIQUES

Établir un plan de fumure prévisionnel de fertilisation azotée et remplir un cahier d'enregistrement des épandages pour l'ensemble des fertilisants azotés organiques et minéraux.

❖ AUTRES MESURES

(i) La couverture des sols doit être généralisée aux parcelles de la zone vulnérable pendant les périodes présentant un risque de lessivage.

Sont considérés comme couverture du sol, les cultures d'hiver et cultures dérobées, les cultures intermédiaires piège à nitrate (CIPAN) et engrais vert, les prairies temporaires et permanentes, les gels environnementaux, toute surface enherbée, les repousses de colza et les résidus de maïs, sorgho et tournesol grain dont les cannes et tiges ont été broyées finement et enfouies, superficiellement ou par un labour.

Les cultures intermédiaires pièges à nitrates ne sont pas nécessaires entre une culture de printemps et une culture d'hiver. Elles doivent être implantées avant toute culture de printemps au plus tard le 30 septembre.

Dans les zones qui ne présentent pas d'inconvénient notable à la mise en place de CIPAN, la couverture du sol est obligatoire sur 70% de la SAU de chaque exploitation (hors orientation viticole, arboricole et maraîchère) en 2009, 80% en 2010, 90% en 2011 et 100% en 2012.

Une dérogation est prévue pour les sols à comportement argileux qui posent de « graves problèmes pour la mise en place d'une interculture ». Dans ce cas, il est institué un régime

dérogatoire à l'implantation de CIPAN, pour une succession culture d'hiver/culture d'été : implantation de bandes enherbées de plus de 5 m de large au bord de tous les cours d'eau, broyage fin des résidus de culture, établissement d'un bilan azoté en fin de chaque campagne. Cette dérogation concerne notre territoire d'étude pour les sols appelés « terreforts », qui sont très argileux (sols argilo-calcaires). Une carte de ces sols est fournie par la Directive Nitrate du tarn.

ii) Mise en place d'une bande enherbée au bord des principaux cours d'eau, sans emploi de fertilisants.

iii) Protection des périmètres de captage des cours d'eau : pas de fertilisation ni de stockage de fumier au sein des périmètres.

iiii) Disposer d'une capacité de stockage des effluents d'élevage suffisante pour permettre le respect des périodes d'interdiction d'épandage fixées par le calendrier précédent.

3. Cas particulier des digestats

Il n'existe pas encore de réglementation spécifique qui dicte l'utilisation des digestats de méthanisation. En attendant, après prise de contact avec la chambre d'agriculture de l'Aude, on décide de considérer :

- le digestat liquide comme un engrais de type II (lisiers/fientes)
- le digestat solide comme un engrais de type I (fumiers).

ANNEXE 10 : IDENTIFICATION DES PLATES-FORMES DE COMPOSTAGE DANS LA ZONE D'ÉTUDE

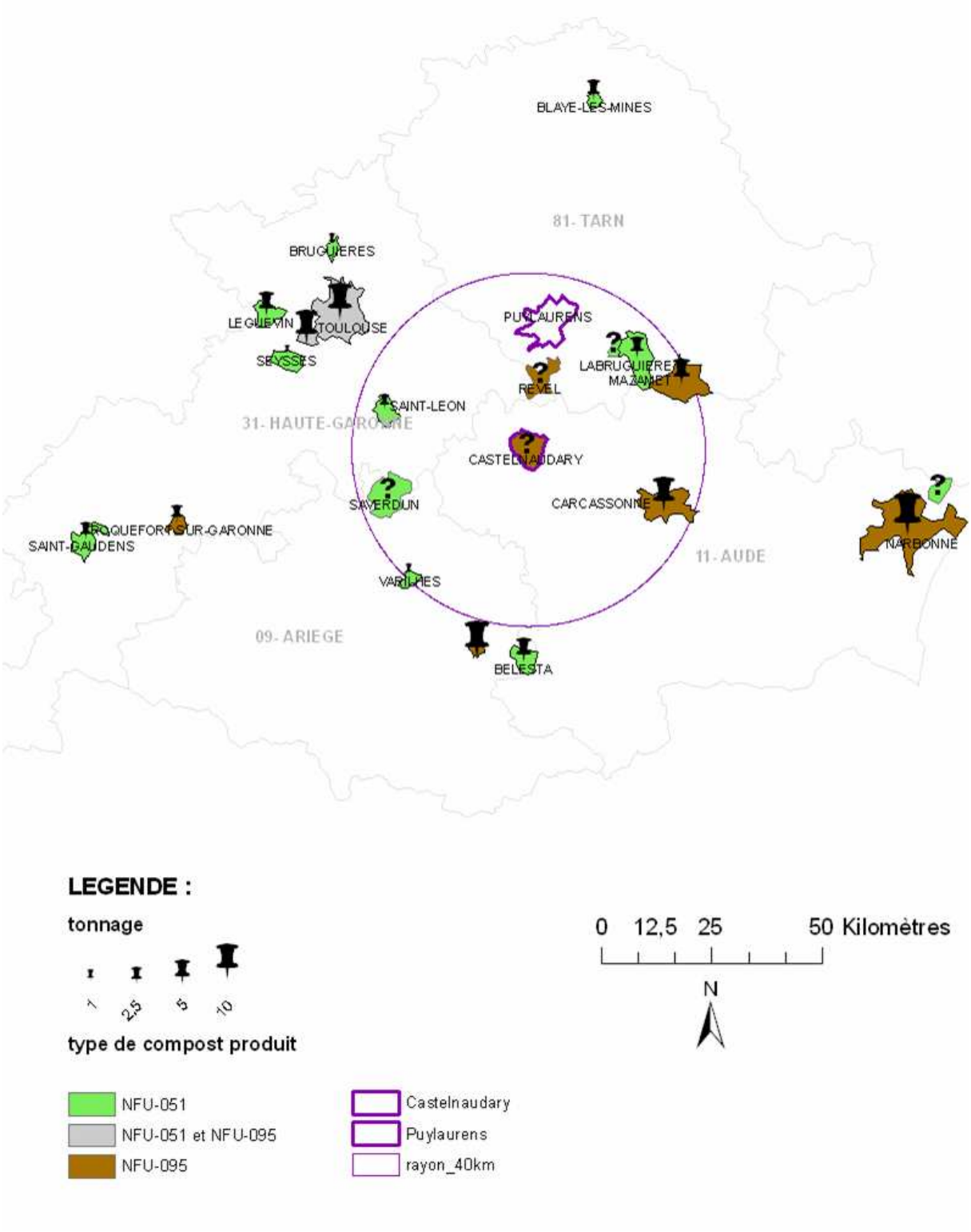


Figure 13 : Plates formes de compostage (source : M Etchart, données : recensement Ademe)

Propriétaire de la plateforme	Commune	Département	44-051 (Tonnes)	Tarif €/T	44-095 (Tonnes)	Tarif €/T
SEDE	Narbonne	11			15000	4
	Toulouse Ginestous	31			4500	4
	Mazamet	81			6000	4
Terralys	Leguevin	31	5000	7.5		
	Roquefort/Garonne	31			3000	6.5
	Maumusson	82			3500	6.5
	Carcasonne	11			10000	6,5
	Béziers	34	En projet 20000 T de 44-095			
Transvert	Saint Léon	31	2000	7.5		
Trifyl	Labruguières	81	4000	10		
	Blaye les mines	81	3500	10		
Cler Vert	Belestat Lauragais	31	5000	5		
SIVOM Saint gaudens - Montréjeau	Saint Gaudens	31	2500	9		
SIVOM de la Saudrune	Cugnaux	31	6000	4	4000	4
SIVOM de Brugières	Bruguières	31	1000	9		
APAG	Castelsarrasin	82	En projet de 800 T de 44-051			
SMDEA	Villeneuve d'Olmes	9	En projet 12000T de 44-095			
SMECTOM	Varilhes	9	1000			4
Mairie de Toulouse	Toulouse	31	7000	1		
Les remblais Toulousain	Seysses	31	800	10		
TOTAL			**37800**		**46000**	
			83800			

Tableau 7 : Plates-formes incluses dans l'étude de l'EIP (source : de Roquefeuil et al., 2009)

ANNEXE 11 : IMPLANTATION D'ARTERRIS DANS LA ZONE D'ÉTUDE

Cette implantation est estimée à partir des données de récolte 2006 fournies par l'ONIGC (Organisme National Interprofessionnel des Grandes Cultures). Cet organisme public prélève une taxe sur les céréales récoltées (0.36 €/tonne pour la campagne 2008-2009) et à ce titre, elle dispose des volumes totaux récoltés. Elle peut alors faire un bilan des collectes de chaque coopérative.

Dans notre zone fortement céréalière, on assimile le pourcentage de récolte Arterris à l'implantation de cette dernière sur le territoire, ou encore la « fidélité » des agriculteurs. Les données sont agrégées à l'échelle cantonale (Figure 14) :

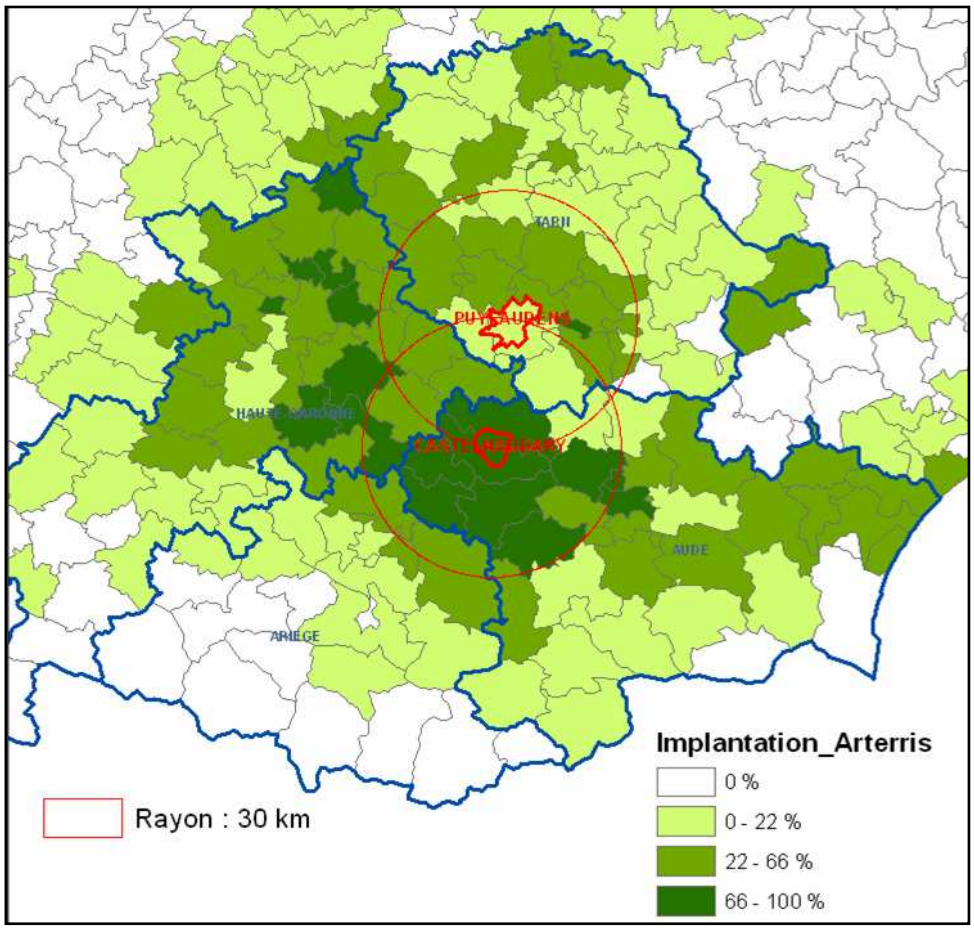


Figure 14 : Répartition de l'activité Collecte d'Arterris (source : M Etchart, données Arterris)

Le cœur d'activité d'Arterris se trouve dans l'ouest de l'Aude, avec des taux atteignant 95% autour de Castelnaudary (siège social de la coopérative). Plus on s'éloigne de ce centre, plus le taux d'implantation baisse, sauf dans le nord de Haute-Garonne. La fidélité dans le Tarn est plus réduite, notamment dans le canton de Puylaurens.

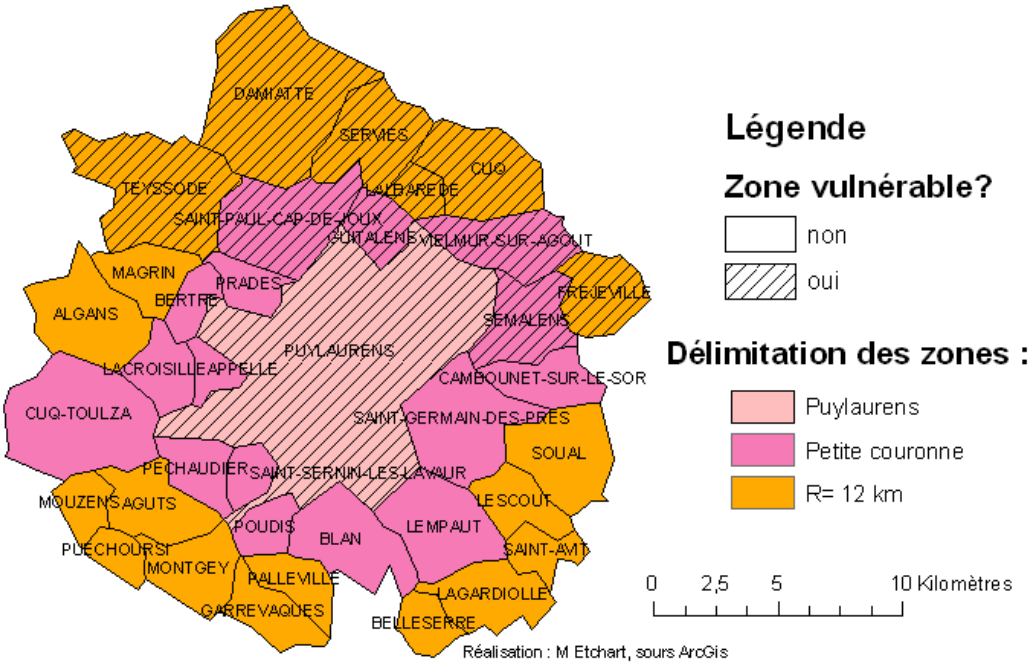
ANNEXE 12 : CALENDRIER DE FERTILISATION AZOTÉE DES CULTURES EN ZONE NON-VULNÉRABLE

	Kg N /ha/an	Jan	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	TOTAL
Culture d'hiver	Blé dur	40		40-60	60-70 + qualité 50			~200
	Blé tendre	30-40	50-60	60-70				~150
	Colza	40- 50	50-60	40-60				~150
Culture d'été	Maïs					80-110	80-100	~200
	Tournesol					0-30	0-100	~50
	Prairies	Apports réguliers (février puis après coupes)						>100

Tableau 8 : Apports azotés sur les cultures (source : M Etchart, données Arterris)

La première remarque est que l'on ne fertilise en azote minéral que six mois de l'année (Tableau 7). Les apports sont fractionnés et les doses à chaque apport sont ajustées grâce au bilan azoté, mais aussi à l'observation directe au champ. Au final, on apporte en moyenne la dose indiquée dans la colonne bleue.
La fertilisation du tournesol est plus aléatoire, c'est traditionnellement le parent pauvre des cultures : certains agriculteurs font deux apports, d'autre un seul en mai, en fonction de leur situation économique. Sa fertilisation optimale est estimée à 50 unités d'azote/ha/an.

ANNEXE 13 : RÉSULTATS DES BESOINS EN FERTILISATION NPK



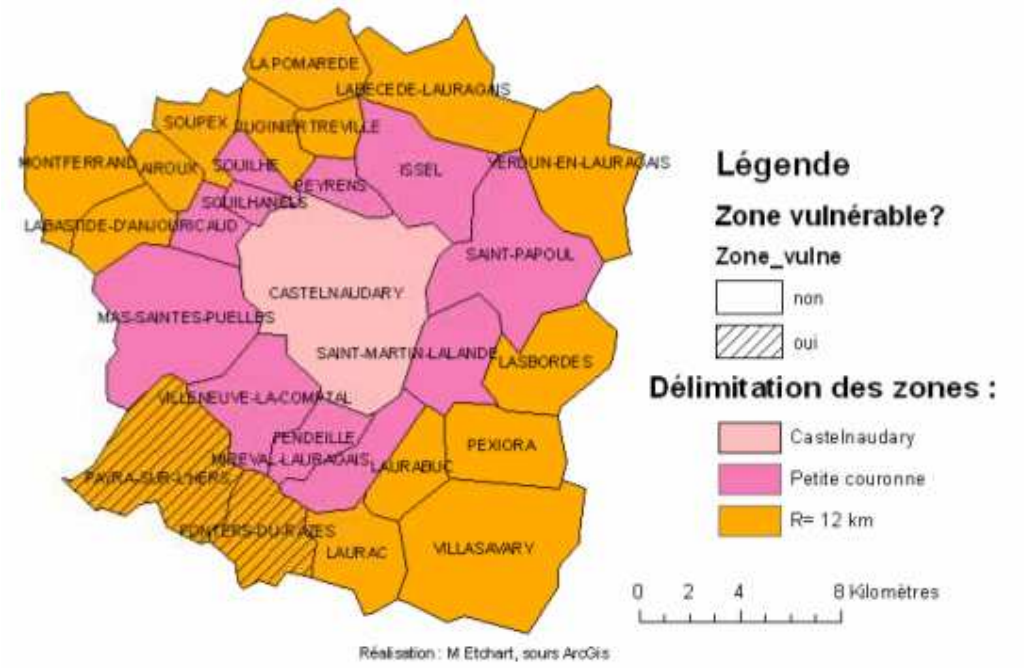


Figure 15 : Explicitation des zonages employés (source : M Etchart)

T Azote/an	Culture	Blé dur	Blé tendre	Mais grain	Tournesol	Colza	Σ cultures
Zone	***Public***						
Puylaurens	*Réel*	36	26	5	8	2	**77**
	Potentiel	127	91	18	28	5	**269**
Petite couronne	*Réel*	137	83	32	27	8	**287**
	Potentiel	516	292	110	106	27	**1051**
R=12 km	*Réel*	202	133	67	44	14	**461**
	Potentiel	902	516	248	195	55	**1916**
T Azote/an	**Culture**	Blé dur	Blé tendre	Mais grain	Tournesol	Colza	**Σ cultures**
Zone	***Public***						
Castel	*Réel*	349	5	11	38	8	**411**
	Potentiel	398	6	13	44	10	**471**
Petite couronne	*Réel*	854	12	28	88	26	**1008**
	Potentiel	1031	14	31	105	33	**1214**
R=12 km	*Réel*	1694	24	47	182	75	**2022**
	Potentiel	2092	27	53	222	89	**2483**

Tableau 9 : Première estimation des besoins en fertilisant azoté (source : M Etchart, données Arterris)

Σ cultures (T N/an)	**Zone**	**Castelnaudary**	**Puylaurens**
Périmètre	***Public***		
Ville seule	*Réel*	324	61
	Potentiel	371	216
Petite couronne	*Réel*	794	245
	Potentiel	956	895
R=12 km	*Réel*	1579	397
	Potentiel	1939	1644

Tableau 10 : Besoins en azote réajustés (source : M Etchart, données Arterris)

kg/ha	Apport réalisé l'année précédente		Apport réalisé Il y a 2 ans		Apport réalisé Il y a 3 ans	
Culture	besoin P	besoin K	besoin P	besoin K	besoin P	besoin K
Blé dur	49	18	49	24	80	31
Blé tendre	40	17	40	22	50	28
Tournesol	22	13	22	17	27	24
Maïs	54	39	54	49	68	68
Colza	72	26	96	32	106	45

Exigence :
- FORTE = à respecter absolument
- MOYENNE = à respecter
- FAIBLE = impasse envisageable

Tableau 11 : Besoins PK par culture (source : M Etchart, données Comifer et Arterris)

P, K	t/an	Apport réalisé **tous les ans**		Apport réalisé **tous les 2 ans**		Apport réalisé **tous les 3 ans**	
Castel	*Public*	besoin P	besoin K	besoin P	besoin K	besoin P	besoin K
Ville	*réel*	111	46	56	30	57	27
	potentiel	126	52	64	34	65	30
Couronne	*réel*	271	111	138	73	140	65
	potentiel	326	133	166	88	169	78
R=12 km	*réel*	550	225	281	148	284	131
	potentiel	674	275	344	181	349	160

Puylaurens	*Public*	besoin P	besoin K	besoin P	besoin K	besoin P	besoin K
Ville	*réel*	21	10	11	12	10	5
	potentiel	75	33	38	44	35	19
Couronne	*réel*	80	36	41	47	38	21
	potentiel	293	133	149	173	139	77
R=12 km	*réel*	129	60	66	78	61	35
	potentiel	538	248	273	323	254	144

Tableau 12 : Besoin PK sur les territoires (source : M Etchart, données Arterris)

ANNEXE 14 : REPRÉSENTATION DES CULTURES MAJORITAIRES PAR CANTON AU SEIN D'ARTERRIS

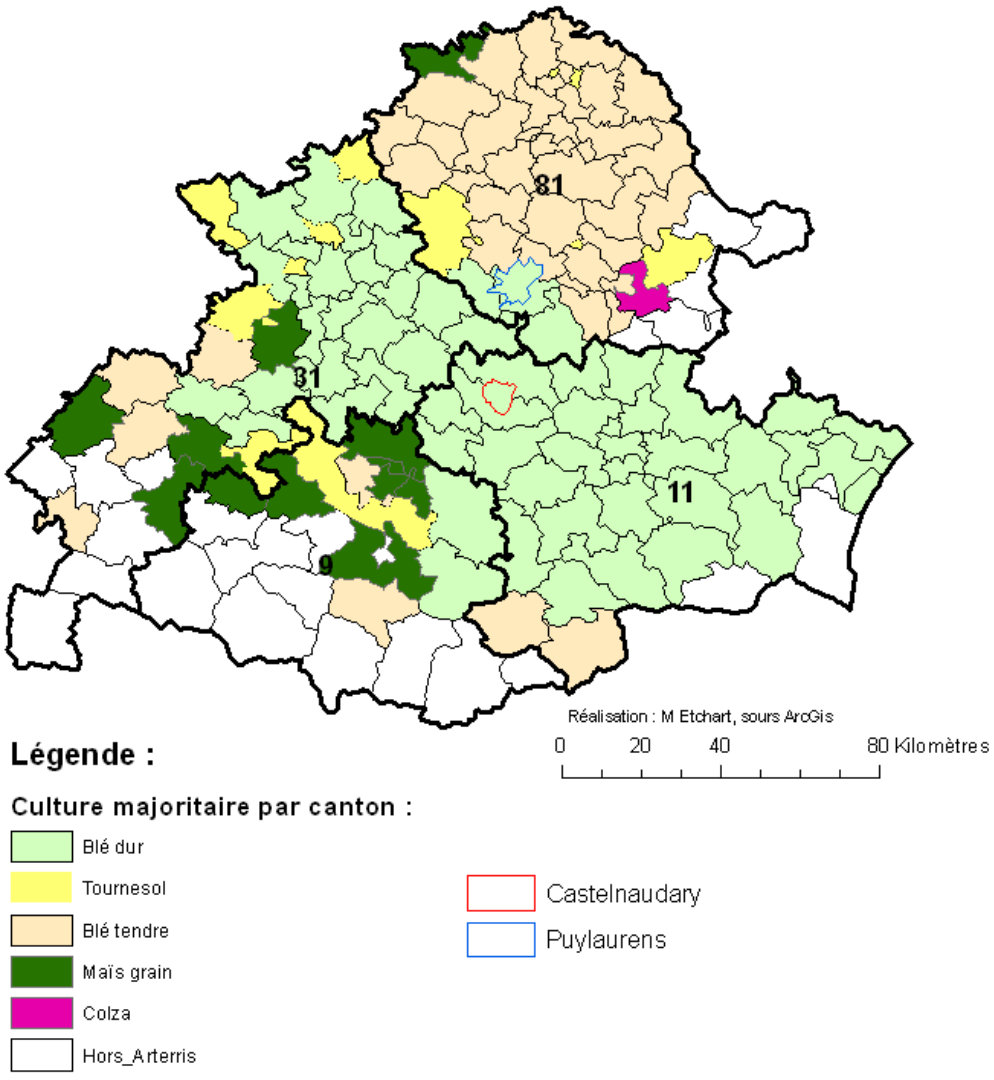


Figure 16 : Principale culture (en surface) par canton (source : Arterris)

ANNEXE 15 : RÉSULTATS DES ANALYSES DE SOL

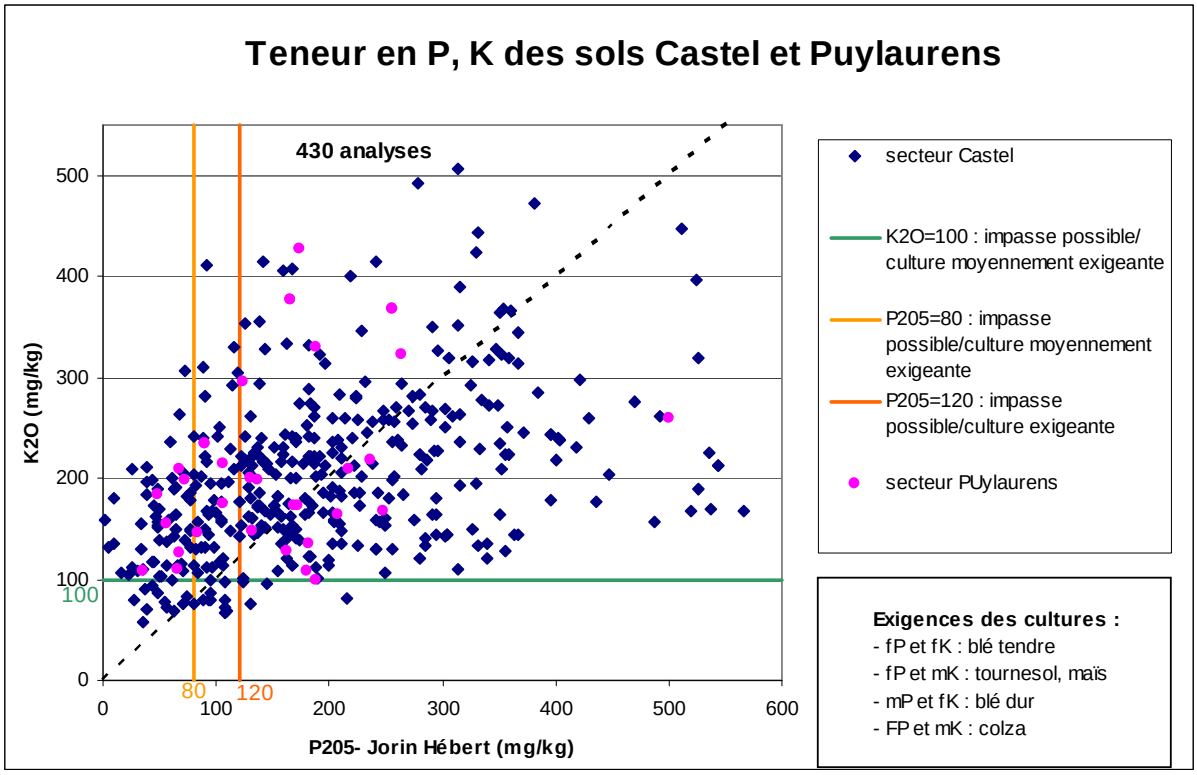


Figure 17 : Analyses de sol interprétées pour le phosphore (P2O5) et le potassium (K2O) (source : M Etchart, données laboratoires Eurofins Lara)

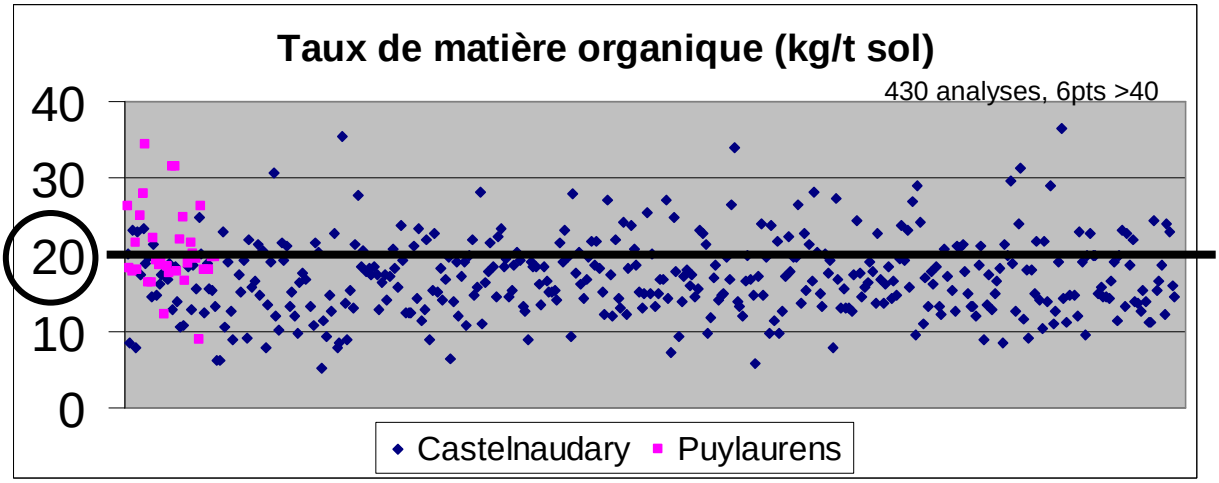


Figure 18 : Analyses de sol interprétées pour le taux de matière organique (source : M Etchart, données laboratoires Eurofins Lara)

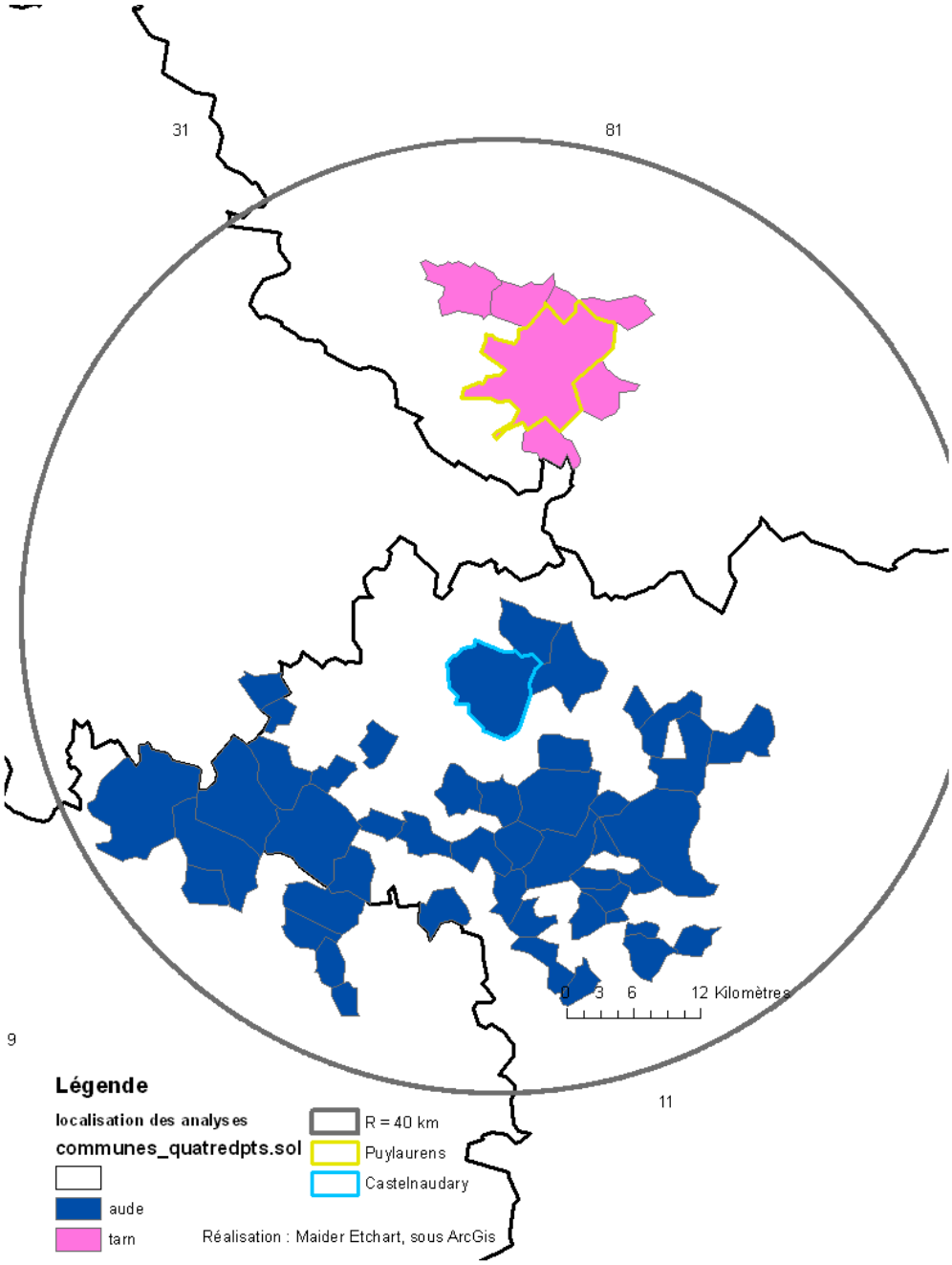


Figure 19 : Localisation des communes d'où proviennent les analyses exploitées (source : M Etchart, données laboratoires Eurofins Lara)

ANNEXE 16 : ETA RENCONTRÉES DANS LA ZONE PUYLAURENS

ETA			Epandage		
Nom	**C. Postal**	**Commune**	**liquide**	**solide**	**remarques**
Daniel TOULIS	9700	Saverdun	Terragator 25000 l	/	
Henri BLANC	11400	Castelnaudary	pas intéressé	épandeur 25m3	président des ETA de l'Aude
Jlouis LATCHE	31290	Mauremont	cuve solution azotée 5000 l	épandeur 25 m3	intéressé par un investissement
SARL DAMIEN	31450	Pompertuzat	/	2 épandeurs 22 m3	/
Michel PIERRE	31550	Cintegabelle	intéressé par un investissement	épandeur 20 m3	/
Philippe RAYNAUD	81500	Fiac	Terragator	/	aussi épandeur de boues

Tableau 13 : Liste des ETA contactées (source : M Etchart)

ANNEXE 17 : PÉDOCLIMAT DU TERRITOIRE D'ÉTUDE

1. Bilan pluviométrique

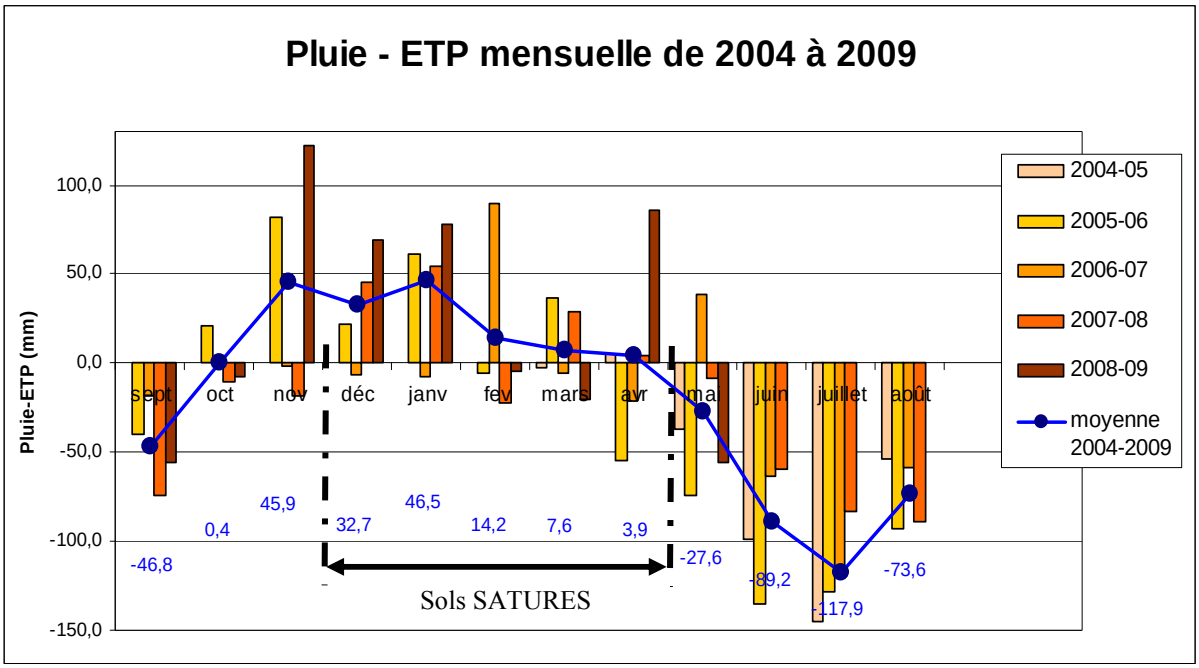
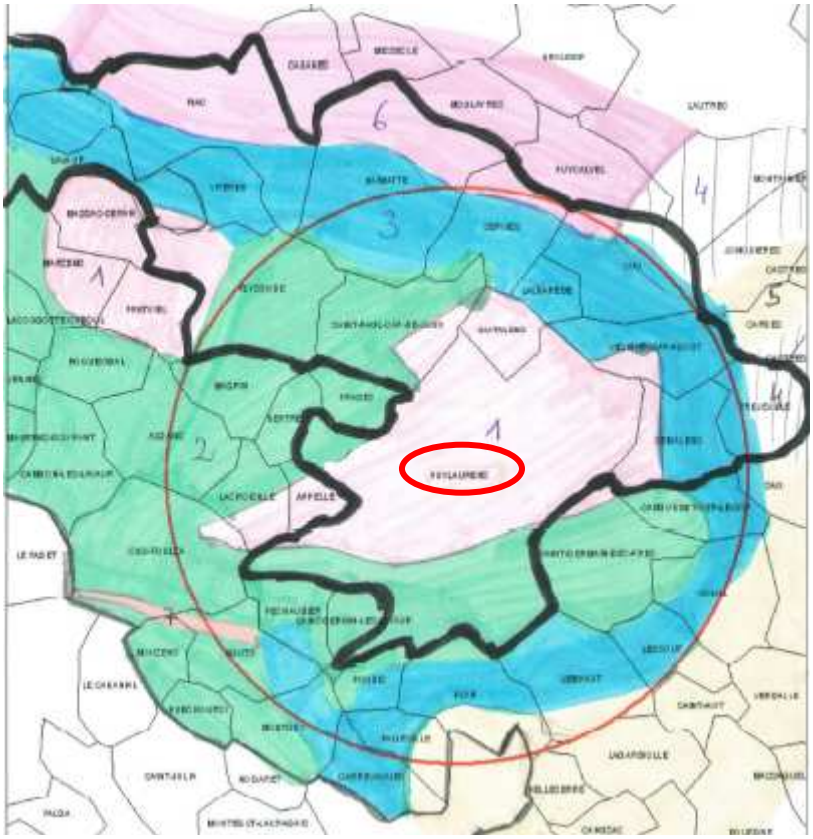


Figure 20 : Bilan pluviométrique de 2004 à 2009 (source : M Etchart, données de la station météo Arterris de Bonanza (11) et CA Aude)

2. Carte des sols



LÉGENDE :

Dérogation CIPAN D. Nitrates

- 1 : « Terreforts », coteaux accidentés avec bancs calcaires : fort taux d'argile, faible RU, pH>7
- 2 : Coteaux argileux peu à moyennement accidentés
- 3 : « Boulbènes », basses plaines d'alluvions récents non calcaires : bonne structure et teneur en eau, pH≤7
- 4 : Autres sols
- 5 : Piémonts de la Montagne Noire : sols bruns lessivés, hydromorphes en profondeur, battants
- 6 : Coteaux accidentés sur marnes et dépôts caillouteux : présence de terreforts et de boulbènes
- 7 : Basse plaine d'alluvions récents : zone argileuse et calcaire
- : Commune de Puylaurens
- : Délimitation externe de la zone vulnérable (4ème programme de la Directive Nitrate du Tarn)

Figure 21 : Carte des sols dans la zone de Puylaurens (source : M Etchart, données CA Tarn)

ANNEXE 18 : MATERIEL D'EPANDAGE DU DIGESTAT LIQUIDE

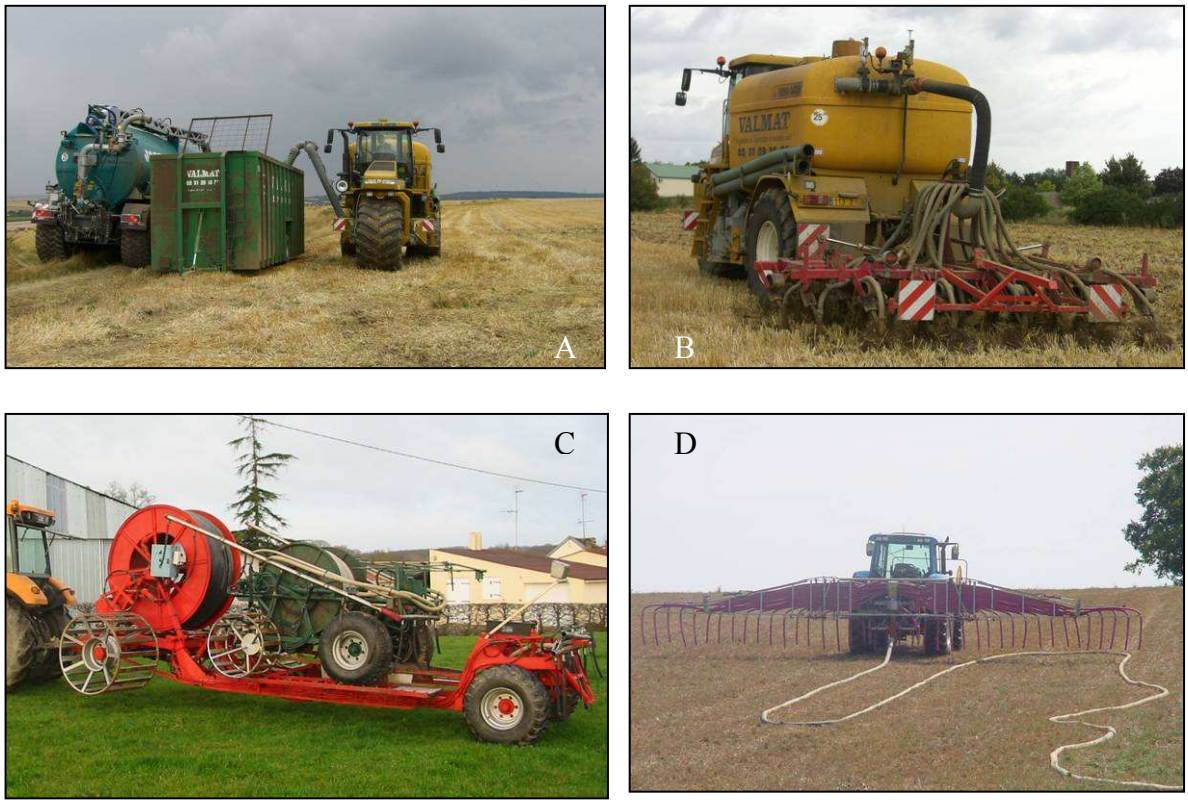


Figure 22 : Logistique à prévoir (A) et les trois équipements proposés : Terragator (A et B, source : AgroParistech), Duoadapter® (C, source : Valorem) et Epandage Ombilical (D, source : Valorem)

Paramètres	Terragator	Ep. Ombilical	Duoadapter
Débit moyen (m3/h)	30	40	35
Investissement	~300 k€ (1)	130 k€ (2)	~98 k€
Coût épandage (3) (€/m3)	3- 4	2,40	2,40

(1) *source : AgroParisTech(Dominique Tristant)*
(2) *prix du tracteur compris*
(3) *le coût du transport du liquide n'est pas pris en compte*

Tableau 14 : Eléments de comparaison des trois équipements proposés (source : Valorem)

ANNEXE 19 : CONSULTATION DES ACTEURS DU TERRITOIRE

aufildelasemaine

→ DÉPARTEMENT p. 4-7 → RÉGION p. 7-8 → FRANCE - EUROPE p. 9

DÉPARTEMENT

Territoires → Valorem et Arterris organisaient ce lundi 15 juin à Puylaurens, une réunion publique pour les agriculteurs, sur le projet de création d'une unité collective de méthanisation. Le point sur la démarche.

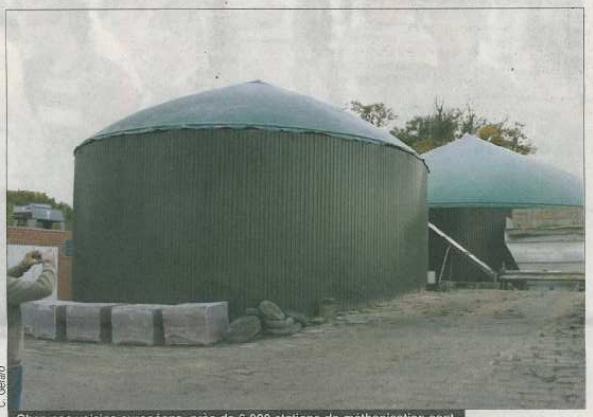
Méthanisation territoriale partagée : un projet se lance à Puylaurens !

Lundi 15 juin, une vingtaine d'agriculteurs et d'élus locaux étaient réunis à Puylaurens pour une réunion d'information sur le projet de méthanisation territoriale partagée (MTP). Derrière cette appellation un peu compliquée, deux structures, Valorem et Arterris, souhaitent en fait valoriser les déchets de l'industrie agroalimentaire, les effluents d'élevage et d'autres matières fermentescibles par le biais d'une fermentation anaérobie : c'est la méthanisation.

Un projet auquel tient tout particulièrement Anne Laperrouze, maire de la commune. *"Je suis personnellement très attachée au développement de l'utilisation d'énergies renouvelables. Par rapport à ses voisins du Nord et de l'Est, la France est très en retard sur ces questions. A Puylaurens, nous ne sommes pas très grands, mais nous le sommes suffisamment pour être innovants. Et puis, cette unité s'inscrirait dans toute la chaîne agroalimentaire que nous avons déjà sur place. J'aimerais vraiment que ce projet aboutisse !"*

D'après les premières informations dont dispose la société Valorem, les gisements de déchets pour l'unité de MTP de Puylaurens pourraient avoisiner les 18 000 tonnes. Le gisement agricole représenterait 70% de ce total. L'autre partie, le gisement agroalimentaire, serait constituée des déchets de l'abattoir, des ateliers de découpe, des déchets de silos, etc. Reste maintenant à convaincre les agriculteurs d'adhérer au projet. Dans les prochaines semaines, Valorem et Arterris comptent rencontrer plusieurs exploitants sur un rayon de 7 à 10km autour de la commune pour leur présenter le projet et savoir s'ils sont partants ou non.

Les intérêts pour les agriculteurs peuvent être nombreux. Il y a d'abord les retours directs. Après passage dans le digesteur, la méthanisation de la matière organique aboutit à deux produits : le biogaz et le digestat. Le digestat, riche en azote et en phosphore, peut être réutilisé par les agriculteurs comme fertilisant. Quant au biogaz, sa combustion en moteur-cogénérateur, génère de l'électricité et de la chaleur. L'électricité, injectée sur le réseau, peut amener un revenu supplémentaire à l'agriculteur. La chaleur peut, elle, être utilisée de différentes façons. On peut envisager de l'utiliser pour du chauffage collectif, pour des process industriels ou à destination plus agricole, pour chauffer des serres, sécher des fourrages, etc.



C. Gérard

Chez nos voisins européens, près de 6 000 stations de méthanisation sont déjà opérationnelles, comme celle-ci, en Basse Saxe (Allemagne).

Avantages collatéraux

Comme souvent dans la valorisation des énergies renouvelables, les retours sur investissements sont assez longs… et souvent modestes. Cependant l'implantation d'une unité de MTP peut avoir pour les éleveurs pas mal d'"avantages collatéraux". Qui dit apport des effluents d'élevage, dit moins de problème de stockage des fumiers et des lisiers… moins de manutention… pas de plan d'épandage à gérer… moins de travail !

Il y a enfin l'intérêt d'intégrer une démarche de développement durable. Le bilan énergétique d'une unité de méthanisation est très positif : elle restitue au moins 5 fois l'énergie consommée pour sa production et permet une réduction de 80% en moyenne des émissions de gaz à effet de serre. Sur un tel projet, les impacts sont aussi d'ordre économique et social : des emplois peuvent être créés pour le fonctionnement de l'unité, la démarche peut impulser une vraie dynamique de territoire entre de nombreux acteurs locaux…

Un projet viable

En ce qui concerne la rentabilité du projet, plusieurs éléments devraient rassurer les exploitants du secteur. Déjà, Valorem et Arterris réaliseraient les investissements de fonds nécessaires au lancement du projet. Ensuite, le tarif de rachat d'électricité garanti sur 15 ans permet le financement de l'unité. Des subventions viendront enfin en complément.

La dimension "partagée" du projet est aussi un élément important pour Valorem. La démarche prévoit en effet une distribution de parts aux apporteurs de déchets, au prorata du pouvoir méthanogène des déchets qu'ils fournissent. Un moyen aussi pour les acteurs du projet de s'approprier réellement l'outil. La société s'appuie enfin sur l'expertise de l'association Solagro et affiche ce partenariat comme caution technique du projet.

A la différence des autres projets autour des énergies renouvelables, la MTP est un véritable projet de filière, puisque l'énergie ne vient pas toute seule au transformateur, il faut des apporteurs. En France, la démarche en est vraiment à ses débuts : une seule unité collective fonctionne aujourd'hui. Pour sa part, Valorem suit actuellement 5 autres projets. Tout est à structurer, mais 6000 installations tournent déjà en Europe. Pourquoi pas chez nous ?

S. LENOBLE

En chiffres

Le gisement de déchets du projet de MTP sur Puylaurens devrait avoisiner les 18 000 T :
- **12 500 T de déchets issus du gisement agricole (effluents d'élevage et résidus de culture)**
- **5 390 T de déchets issus du gisement agroalimentaire (déchets abattoirs, ateliers de découpe, silos, biscuiterie…).**

Repères

Une vache produit 17 m³ de lisier, qui produisent 450 m³ de biogaz qui produisent 2550 kWh d'énergie brute soit 260 litres de fuel.

→ La méthanisation collective

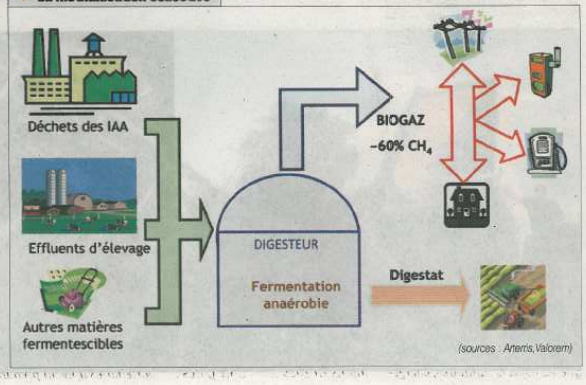


Figure 23 : Article paru à l'issue de la réunion publique du 15 juin (source : Le Paysan Tarnais)

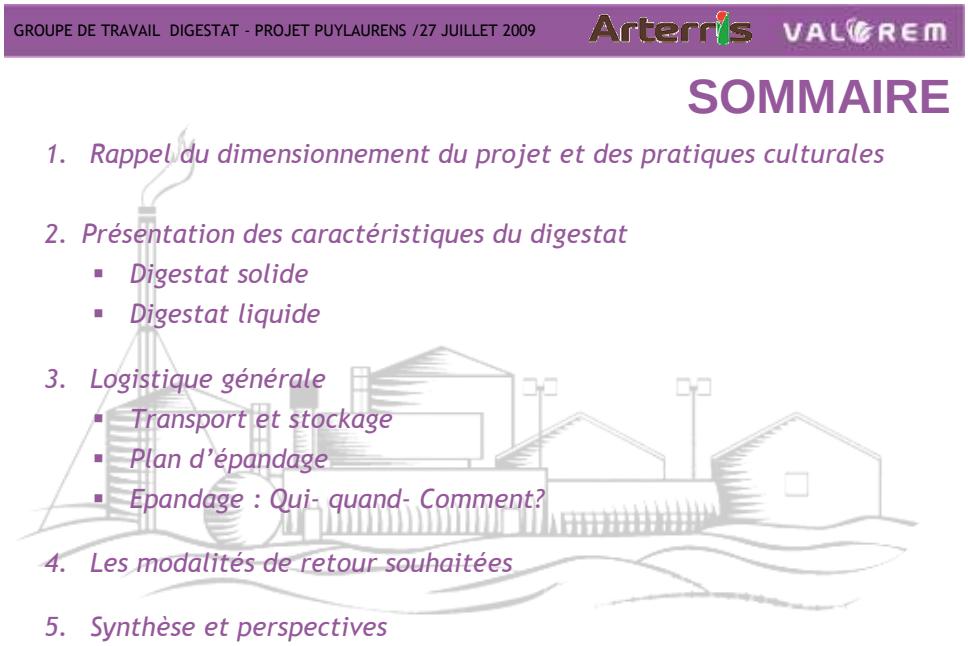

GROUPE DE TRAVAIL DIGESTAT - PROJET PUYLAURENS /27 JUILLET 2009
Arterris
VALOREM
SOMMAIRE
1. Rappel du dimensionnement du projet et des pratiques culturales
2. Présentation des caractéristiques du digestat
Digestat solide
Digestat liquide
3. Logistique générale
Transport et stockage
Plan d'épandage
Epandage : Qui- quand- Comment?
4. Les modalités de retour souhaitées
5. Synthèse et perspectives

Figure 24 : Ordre du jour de la table-ronde « digestats » (source : Arterris et Valorem)

Résumé

Arterris est une coopérative agricole d'envergure régionale du Sud de la France, qui doit en permanence innover pour rester compétitive dans le milieu agricole. Soumise à un marché mondial d'engrais de plus en plus imprévisible, la coopérative réagit par la recherche de nouvelles sources d'approvisionnement en engrais. Ces sources doivent être de proximité et mieux sécurisées afin de répondre à la demande de 21000 adhérents.

Après avoir développé une offre de composts, Arterris se tourne maintenant vers la méthanisation territoriale. La méthanisation consiste en une fermentation anaérobie de déchets organiques divers ; principalement déchets d'industries agroalimentaires et effluents de ferme. Elle produit du biogaz (méthane) et un résidu organique, le digestat, pressenti pour être un nouvel engrais de substitution.

La création d'unités de méthanisation présente un double intérêt pour la coopérative. Elle lui permettrait de produire de l'énergie à partir de déchets *non valorisés* jusqu'alors (issues de silos, etc.) et de générer deux nouveaux fertilisants des cultures : un digestat dit « solide » (de par sa texture) pour un tiers du volume, et le reste de digestat « liquide ».

Toutefois, les projets de méthanisation territoriale sont des projets complexes, multi-acteurs et peu rentables si *et* l'amont *et* l'aval de la fermentation ne sont pas optimisés. Arterris s'est donc associée à deux spécialistes de la méthanisation, Valorem et Solagro. Au sein du partenariat, Arterris est en charge de trouver des voies de valorisation des digestats. Ce sont des produits totalement nouveaux pour la coopérative, et aussi nouveaux en France puisque seulement quatre digesteurs de méthanisation territoriale fonctionnent actuellement. Ce travail va donc tracer des pistes de valorisation, dans le cadre de deux territoires d'étude prédéfinis : Castelnaudary dans l'Aude et Puylaurens dans le Tarn.

La digestion permet de désodoriser et d'assainir les effluents mais le digestat conserve un statut réglementaire de déchet et devra être géré comme tel : nous optons pour une valorisation par épandage sur cinq grandes cultures qui dominent le paysage agricole de notre territoire d'étude : blé dur, tournesol, blé tendre, maïs et colza.

Qui plus est, les digestats sont intéressants du point de vue agronomique. Le digestat solide combine un apport de matière organique et de phosphore semblable à celui des composts ; le digestat liquide est un fertilisant potassique. De plus, tous deux contiennent de l'azote ammoniacal ; ce qui les place aussi dans la catégorie des fertilisants azotés.

La présence d'azote sous forme ammoniacale oblige à développer des pratiques agricoles précautionneuses : stockage couvert, épandage au plus près des stades-clé de croissance de la plante. Dans le territoire étudié, cela entraînerait des changements importants : des changements de fond (raisonnement des dates de fertilisation) et de forme (matériel utilisé, conduite des chantiers d'épandage).

Ces nouveautés limitent l'enthousiasme des agriculteurs vis-à-vis de ces fertilisants et même du projet global de méthanisation. Après consultation de quelques agriculteurs du territoire de Puylaurens, on pense même à déroger à l'objectif initial de la coopérative, c'est-à-dire à abandonner les avantages fertilisants du digestat liquide pour en faire un simple liquide d'irrigation. Pourtant, le fait est que nous devrons convaincre ces acteurs car selon le dernier scénario, ils fourniraient environ 70% du gisement de déchets ; donc ils contribuent pleinement à la rentabilité du projet. L'approche marketing et commerciale que nous proposons devrait permettre d'aller dans ce sens, en positionnant stratégiquement le prix et les services attenants à la commercialisation des digestats.

Outre le digestat, d'autres points du projet de Puylaurens posent problème, notamment la valorisation de la chaleur de digestion : il faudra bientôt décider si l'on approfondit les investigations sur ce territoire ou si le projet s'arrête là.

Abstract

Arterris is a major co-operative society of the South of France, which constantly has to innovate so as to remain competitive among the agricultural markets. Under a world-scale and more and more unpredictable inorganic fertilizer market, the co-operative is now looking for closer and more secure fertilizer sources to be able to supply more than 21 000 farmers.

After having developed a compost offer, Arterris is now turning towards collective methanization. Methanization consists in an anaerobic digestion of various organic wastes, mainly from food processing industries and livestock farms. It produces biogas (methane) and an organic residue, the so-called digestate, that is expected to help substitute current inorganic fertilizers.

Creating biogas plants is doubly beneficial for the co-operative. One the one hand, the process would help recover energy from some of its unvaluable wastes. On the other hand, Arterris would produce its own fertilizer, indeed two organic fertilizers for crops: one third of « solid » digestate and the rest of « liquid » digestate (fertilizer names reflect their texture).

However, biogas plant projects are quite tricky because they involve many actors and because their financial viability requires to master top-down aspects. As a consequence, Arterris has appealed to two specialist companies, Valorem and Solagro. Within the partnership, Arterris keeps the responsibility of digestate management, even if this is a completely new product for the co-operative. Indeed, digestates are also quite new in the whole France, where only four co-digestion plants are currently working.

In this work, we will provide lines of digestate management and value-adding, within two pre-defined areas: Castelnaudary (11) and Puylaurens (81).

During the digestion process, the odour and most of the pathogens are removed from the mixture but according to the Law, digestates remain classified as *wastes*. Then, they will be upgraded by application on the main crops of both territories: durum wheat, sunflower, bread wheat, maize and rape.

Moreover, digestates have a high agronomical value. Solid fraction behaves like compost: it supplies organic matter and phosphorus to the soil; liquid digestate is a potassium fertilizer. Both of them are also nitrogen fertilizers since they contain ammonium.

Managing ammonium requires new storage, transport and land application methods. The latter has to be done when plant's nutrient demand is high in order to avoid adverse environmental impact. In our territory, it implies considerable agricultural changes; changes in the basis (rethink the whole fertilization) as well as in the form (equipments, ways of spreading).

The new model does not fill farmers with enthusiasm. According to our fruitful discussions with some of them in Puylaurens, we would even better use the liquid fraction as a simple irrigation liquid instead of a nitrogen fertilizer. Still, it is important that we manage to convince the farmers because the plant is expected to receive more than 70% of livestock wastes, meaning that farmers greatly contribute to the viability of our project.

We have developed a marketing and commercial approach which could help attract the suppliers. The price of digestates and the quality of digestate supply-related services will be decisive.

The biogas plant project in Puylaurens is not limited to digestate management and encounters some other problems, such as surplus heat valorisation. We will soon have to make an assessment of the situation in order to decide whether investigations have to go on or not in that area.